МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**А. Н. Коптев, А. В. Кириллов, А. Н. Тихонов**

# Синтез систем диагностического управления техническим состоянием бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов

Электронное учебное пособие

САМАРА

2012

УДК 621.396.6
ББК 39.53
К 658

Авторы: **Коптев Анатолий Никитович,**
**Кириллов Алексей Владимирович,**
**Тихонов Алексей Николаевич**

**Коптев, А. Н.** Синтез систем диагностического управления техническим состоянием бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев, А. В. Кириллов, А. Н. Тихонов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т), электрон. текстовые и граф. дан. (3,4 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Учебное пособие предназначено для подготовки магистров на факультете инженеров воздушного транспорта по направлению 162500.68 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» в рамках магистерской программы «Контроль состояния и диагностирование неисправности авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов». Пособие рекомендуется для изучения дисциплин: «Синтез систем диагностического управления», «Теория и практика контроля и диагностики систем авиационной техники» в семестре *С.*

Разработано на кафедре эксплуатации авиационной техники факультета инженеров воздушного транспорта.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ** ..... 4
**ГЛАВА 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ** ..... 5
1.1. Общие понятия и представления объектов технического обслуживания ..... 6
1.2. Системологические понятия и представления процессов технического обслуживания ..... 16
1.3. Понятия и определение системы ..... 30
1.4. Статика и динамика состояния сложной системы. Понятия, ..... 49
определения и представления ..... 49
1.5. Обобщенная структурно-логическая информационная модель взаимодействия ..... 74
**ГЛАВА 2. ТЕНЗОРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** ..... 87
2.1 Методологические основы моделирования ..... 87
2.2 Тензорная методология исследования сложных систем ..... 101
2.3 Тензорное моделирование технологических процессов ..... 119
2.4 Проблемы теории производства компонент сложных систем ..... 124
2.5 Основы теории представлений компонент сложных систем ..... 130
2.6 Основы теории технологии изготовления сложных систем ..... 150
**ГЛАВА 3. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА** ..... 193
3.1 Методы построения диагностических тестов ..... 200
3.2 Принципы анализа объектов контроля ..... 203
**ГЛАВА 4 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЙ** ..... 241
4.1 Системный подход и научные основы синтеза ..... 241
4.2. Основные принципы прикладного синтеза объектов и систем ..... 246
4.3. Основные понятия теории синтеза ..... 250
4.4 Терминология синтеза объектов и систем ..... 260
4.5 Формализация представлений объектов технологий и систем ..... 273
**КОММЕНТАРИИ** ..... 290
**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ** ..... 293

# ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие посвящено методам и средствам синтеза систем диагностического управления техническим состоянием бортовых комплексов оборудования самолётов и включает две части:

1) теоретические основы синтеза систем диагностического управления;

2) примеры практического синтеза диагностических систем управления отдельными компонентами оборудования.

Учебное пособие предусматривает:

1. Интеграцию результатов научных исследований в рамках реальных НИР – НИОКР в учебно-исследовательские работы магистров.

2. Разработку модулей, методического и программного обеспечения дисциплины «Синтез систем диагностического управления», включённых в лабораторно-практические занятия учебного плана направления подготовки.

3. Развитие информационных ресурсов университета.

4. Реализация разработки в рамках реального учебного процесса и проведения всех форм занятий в группах магистров СГАУ, начиная с 2012/2013 учебного года, включая этапы апробации и полноформатного внедрения в преподавательскую деятельность профессорско-преподавательского состава.

# ГЛАВА 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

По мере усложнения решаемых задач оценки состояния воздушных судов и их систем при техническом обслуживании и используемой для этого техники все очевиднее проявляется ограниченность концептуального аппарата технического обслуживания (ТО) воздушных судов (ВС), ориентированного на формально-математическое моделирование. В учебном пособии приводится системологическая концепция ТО, призванная создать аппарат содержательного анализа технических задач на основе учета особенностей неформализуемых параметров объектов ТО.

Вопросы отношений структурного(«логического», « «синтаксического») и субстанциального («материального», «систематического») в реальных естественных и искусственных системах не только представляют общефилософский интерес, но имеют также весьма важное значение при построении человеко-машинных систем ТО, которые являются основным инструментом решения наиболее сложных современных задач технической эксплуатации.

Для эффективного использования таких систем необходимо прежде всего разделить процесс решения на две части: предназначенную для машины, формальную, соотносящуюся со структурой объекта ТО с логикой взаимодействия его частей, и содержательную, семантическую, требующую учета не сводимых к структуре особенностей субстанции объекта и поэтому возлагаемую на специалиста. При этом главная забота специалиста заключается в наиболее полном использовании возможностей техники, чтобы оставшаяся на его долю неформализованная часть задачи оказалась посильной реальному коллективу специалистов.

Использование инженерных представлений и опыта специалистов в решении сложных проблем оценки состояния объектов ТО требует разработки системы, в которой специалист тесно взаимодействует с

математической моделью и алгоритмом. При этом специалист используется для обработки водных данных, генерирования ограничений, получения решений и их оценивания.

Умение специалиста по ТО неформально выделять формализованную часть задачи, а также его способность оперировать с неформальными данными, которые оказывают сильное воздействие на решение сложных задач ТО в целом, позволяет реализовать взаимодействие формальных и неформальных частей задачи.

Потребность решения задач подобной степени сложности определила применение системного подхода. Эффективность системного подхода к решению задач ТО и оценивания состояния объектов обслуживания суще5ственно связана с тем, что приходится обращать внимание и на структуру целого, и на те свойства, которые возникают в каждом ее элементе благодаря самому факту существования системы ТО как некоторого единства, и на свойства целого, вытекающие из своеобразия свойства элементов, показывая механизмы взаимосогласования всех этих параметров системы, формирующейся при обязательном взаимодействии с внешней средой.

Выявление общих свойств систем ТО при таком подходе требует уточнения целого ряда понятий, прежде всего, понятия системы, которое позволило бы обнаружить такие связи между ее частями и такие особенности элементов, которые, в свою очередь, открывают широкие возможности системного решения задач ТО.

## 1.1. Общие понятия и представления объектов технического обслуживания

Выявим в качестве элементарных начальных те понятия, которые опираются на представления, формирующиеся с первых актов взаимодействия специалиста (субъекта) со средой, подтверждаются и

уточняются в течение всей его жизни, так как специалисту необходимо регулярно и практически неограниченное число раз повторять акты удовлетворения потребностей в функционировании ВС как составной части транспортной системы.

При этом, когда будем говорить о специалисте, то будем иметь в виду социального субъекта, обученного на основе требований государственного образовательного стандарта и на базе специальной подготовки для технического обслуживания систем конкретного ВС в авиакомпании по программам, утвержденным соответствующими органами государственного надзора за подготовкой кадров для ТО.

Поэтому формирующийся в рамках этой системы специалист по ТО концентрирует опыт предшественников как зафиксированный результат теории и практики эксплуатации ВС, согласованный с потребностями авиакомпаний.

Таким образом, субъективное сознание специалиста, формирующегося в образовательной среде, оказывается, несмотря на субъективность, в высокой степени объективным и социальным, отражающим через личным опыт и «снятый» опыт эксплуатации ВС.

Постепенно развивающийся субъект как специалист становится способным проводить все более тонкие различия таких характеристик, которые позволяют оценить состояние обслуживаемого объекта, используя при этом модели, алгоритмы, комплекс технических средств и личный опыт, т.е. на основе полученных характеристик дать заключение «объект исправен», «объект неисправен» с учетом различных обстоятельств.

При этом объекты противопоставляются среде, т.е. они имеют пространственно-временные характеристики в этой среде и, как следствие, границы и свойства, которые обнаруживаются при изучении этих границ.

Простейшими видами граничных свойств не одного, а совокупности объектов являются такие, как касание пары объектов (прямой контакт),

нахождение объекта между парой других объектов (т.е. последовательное расположение объектов во времени или в пространстве), а также касание через посредника (косвенный контакт). Очевидно, все эти граничные свойства могут проявлять себя в объектах с различными качественными свойствами.

Идя от среды к объекту, субъект обнаруживает объект как нарушение качественного свойства, как возникновение неоднородности качества. И в этом случае граница объекта воспринимается как внутренняя граница среды, как граница в среде. Но после того, как объект выявлен, субъект переходит от объекта к среде, и тогда граница воспринимается как внешняя граница объекта, как граница на объекте.

Восприятие объектов только в противопоставлении среде и друг другу является такой фазой их познания и освоения, когда они представляются лишь как неделимые целостности, как наличные в среде носители своих свойств; среда при этом есть только антипод всем объектам, и поэтому она также неделима, обладает, как некоторая целостность, присущими лишь ей качественными свойствами на фоне свойств находящихся в ней объектов. Следующим шагом в детализации восприятия объекта является, по-видимому, установление того, что существуют различные среды.

В связи с этим появляется представление о внешней границе среды, причем отличие, подобие и тождество сред может быть и качественным, и количественным, т.е. и среда может иметь различные внешние границы при совпадении качественных свойств или, наоборот, восприниматься как носитель разных качественных свойств, несмотря на тождество внешних границ. Устанавливается при этом, что не только в одной среде могут быть разные объекты, но и один объект может попадать в разную среду.

Освоение этого факта приводит к ослаблению абсолютизации противопоставления объектов среде, и в определенных ситуациях субъект начинает рассматривать целостный объект в среде тоже как среду, но уже как

другую среду. Тогда в этой среде, т.е. в границах целостного объекта, могут быть обнаружены различающиеся по своим качествам новые объекты, «объекты в объектах», в которых, благодаря их качественному отличию друг от друга, также выявляются границы. Многократное наблюдение таких «объектов в объекте» приводит к выработке представлений об относительности целостности объектов, о нарушении однородности качеств в объекте, о существовании не только внешней, но и внутренних границ объекта, о необходимости различать в целостности две такие противоположности, как часть и целое, и о возможности в целом выделять части с их границами, не нарушая целостности. Условием осуществления этой процедуры оказывается осмысление того факта, что частям целого присущи не только качества и границы, но еще и связи, т.е. нарушения границ. Целостность целого оказывается, в различных условиях его нахождения, конкретной разновидностью такой целостности, которая выражает связность частей, и тогда сохранность границ целого осознается как следствие нарушения границ частей.

После обучения навыкам обнаруживать целостности в виде связности, выявлять связи, обеспечивающие связность, субъект начинает различать свойства не только у объектов, но и у самих связей, устанавливать, имеет он перед собой «ту же связь» или «другую связь». Следовательно, представление о качественных и о граничных свойствах распространяется и на сами связи.

Введенный выше неформальный набор общих элементарных понятий будет использован для построения сложных исходных понятий представления объектов ТО, связанных с детализацией оценки их состояния в рамках сложного комплекса оборудования ВС.

Прежде чем переходить к новым, производным понятиям, введем ряд терминологических условностей.

Объекты, о которых можно сказать, что это «такие же» объекты, а не многократное наблюдение «одного и того же» объекта, будем называть экземплярами объектов одного и того же типа. Следовательно, если один объект по отношению к другому нельзя назвать «таким же», а можно считать лишь «иным», то эти объекты принадлежат к различным типам объектов.

Соответственно будем говорить об экземплярах и о типах среды, связей и частей объекта.

Если объект рассматривается как целое, а в этом целом выделяются части, то условимся говорить о частях как об элементах объекта.

Если элементы объекта рассматриваются вне зависимости от того, как они связаны между собой в этом объекте, и поэтому сопоставляются просто как самостоятельные целостности вне целого, то будем говорить о составе элементов данного объекта. Состав элементов объекта может быть охарактеризован перечнем типов элементов, входящих в данный объект, перечнем элементов каждого из типов либо перечнем элементов, независимо от их принадлежности к тому или иному типу.

Соответственно можно пользоваться понятиями: состав связей объекта, состав качеств, состав граничных свойств и т.д.

Связи объекта нередко необходимо рассматривать не просто как сумму особых компонентов, а в их непосредственной роли: как связующие компоненты, конкретным образом расположенные между элементами. В этом случае будем говорить не о составе, а о сети связей объекта, обеспечивающего связность.

Ту среду, исследуя которую объект воспринимает как неоднородную и обнаруживает в ней, благодаря этому, заинтересовавшие его объекты, удобно назвать средой нулевого уровня, или средой нулевого яруса. Тогда объекты, рассматриваемые в среде нулевого яруса как самостоятельные целостности, будут представлять собой объекты нулевого яруса.

Если сами эти объекты нулевого яруса становятся для субъекта средой, то это уже среда первого (более глубокого) яруса. Объекты, выявленные в среде первого яруса, суть объекты первого яруса, представляющего собой, по отношению к объектам нулевого яруса, элементы первого (более глубокого) яруса.

В элементах как в среде первого (более глубокого) яруса соответственно могут быть выявлены объекты второго (более глубокого) яруса и т.д.

Естественно, что понятие яруса приложимо к любому компоненту объекта, т.е. не только к его элементам, но и к его связям.

В зависимости от типа обслуживания количество уровней представлений объектов существенно меняется.

Для уточнения представлений объектов в этих условиях важным понятием является связность объекта, определяющая его структуру.

Связность объекта выражается, как уже отмечалось, в том, что его элементы включены в сеть связей друг с другом. Будем называть схему сети связей между элементами объекта структурой этого объекта.

Если учесть, что между любой парой объектов могут возникать связи нескольких типов, например, связи разных качеств, то следует признать, что в одном и том же связном объекте может обнаруживаться несколько структур, в зависимости от того, о сети связей какого из типов идет речь.

Сама связь по существу есть не что иное, как ограниченное (введенное в границы) нарушение границ между частями объекта. Следовательно, сеть связей характеризует качества нарушений границ и граничные свойства этих нарушений. Структура же является производным граничным свойством сети связей между частями объекта и, как любое граничное свойство, может рассматриваться в отвлечении от качественных свойств этих границ, т.е. практически на примере границ между каким угодно качествами, только как схема. Следовательно, два объекта имеют одну и ту же структуру, если неразличимы такие их граничные свойства, как схема связей между

элементами сравниваемых объектов, независимо от того, к одному или разным типам относятся как элементы этих объектов, так и связи по своим качествам.

При этом следует обратить внимание на существование по крайней мере двух разновидностей структур как выразителей схемы сети связей между элементами объекта. Если на схеме отражаются и учитываются все пространственные или временные граничные свойства связей, то назовем ее полной структурой. Полная структура характеризует полные внутренние пространственные или временные особенности объекта. На такой схеме должна быть отражена и внешняя граница объекта, и все его внутренние границы, т.е. границы элементов.

Схема сети связей отражает только факты контактирования связей через посредничество элементов. Тогда не будут отражаться границы целого, и каждый элемент на схеме будет рассматриваться как точка, представляющая собой, чаще всего, узел связей в структуре, которую будем называть структурой связности.

Пока в объекте выделены части и, следовательно, не обнаружена сет связей между ними, до тех пор в число его свойств, характеризующих целостность, входит наличие внешней границы, определенной на основе обнаружения однородности качества. Если же части выделены, то кроме такого граничного свойства, как внешняя граница, у объекта появляются внутренние границы и производное граничное свойство – структура.

Важнейшим из таких граничных свойств является функция. Поясним это понятие, исходя из математического определения функции.

Если воспользоваться представлениями и терминами теории множеств, то, выделив в составе элементов некоторого объекта определенный элемент, будем вправе рассматривать его как самостоятельное множество (в данном случае единичное), противопоставленное остальным элементам этого состава как второму самостоятельному множеству. Так как элементы этого состава

входят в сеть связей объекта, имеющую вполне определенную структуру, то для любой пары элементов объекта можно установить, связаны они или не связаны. Связанные элементы будем считать «поставленными в соответствие». Тогда получаем возможность определить, какие элементы второго множества поставлены в соответствие элементу первого (единичного) множества, т.е. как на первое множество отображено второе. Как известно, такое отображение одного множества на другое по определению является функцией. Следовательно, мы имеем право рассматривать узел связи структуры связности, который соответствует вхождению любого объекта в сеть связей объекта, как функцию этого элемента в объекте.

Следовательно, если выявлена структура связности объекта, то тем самым установлены функции всех его элементов. Однако если известна только функция элемента, то еще ничего не знаем о том, сети связей какого качества соответствует эта функция и даже каковы граничные свойства элемента, ибо на структуре связности элемент представлен лишь точкой в узле схемы. Поэтому при решении конкретных задач знания функции элемента может оказаться недостаточно для выявления даже одних граничных свойств, не говоря уж о качественных. Но в то же время чаще всего знание функции необходимо.

Естественно, что понятие функции приложимо к элементам на ярусе любой глубины. Но пока менее очевидно, что и объект как целое, как единица нулевого яруса, может иметь свою функцию.

В конкретных задачах бывает необходимо рассматривать явление не «вообще», а на определенном количестве ярусов. Поэтому иногда нужно указывать, какова сумма рассматриваемых ярусов, как более высоких, так и более глубоких по отношению к нулевому. Эту количественную характеристику суммы ярусов условимся называть альтитудой.

Латинское слово «альтитуда» обозначает расстояние в вертикальном направлении от одной крайней точки до другой независимо от того, измеряется высота или глубина. Поэтому, если рассмотрению подлежит, например, некоторый объект до третьего яруса в высоту и до второго яруса в глубину, то альтитуда его равна шести ярусам ($Я_{+3}$ +$Я_{+2}$+ $Я_{+1}$+ $Я_0$ + $Я_{-1}$ + $Я_{-2}$), точно так, как если бы мы имели дело с явлением от нулевого яруса до пятого в глубину

($Я_0$ + $Я_{-1}$ + $Я_{-2}$ +$Я_{-3}$+ $Я_{-4}$+ $Я_{-5}$).

Среда, окружающая объект ТО, как правило, является объектом, но более высокого яруса, чем исходный объект.

Объект более высокого яруса, поскольку он вначале воспринимается как среда, должен включать в себя объект нулевого яруса, но в то же время не сводиться к этому единственному объекту. Следовательно, он должен иметь в качестве своих частей несколько (по крайней мере, два) объекта нулевого яруса.

А так как объект более высокого яруса оказывается и целостным, и состоящим из своих частей – элементов нулевого яруса, то он не может не быть связным, не может не иметь сети связей, в узлах которой находятся элементы исходного нулевого яруса.

Естественно назвать такой более высокий ярус первым и говорить о структуре первого (более высокого) яруса и т.д.

Поскольку исходный объект нулевого яруса находится в узле сетей как одна из частей объекта более высокого яруса, то мы вправе говорить не только о границах, связях и функциях элементов исходного объекта, но и о границе, связях и функции самого этого объекта в объекте более высокого яруса. Таким образом, все введенные понятия получают смысл по отношению к ярусам не только любой глубины, но и любой высоты.

При техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) необходимо анализировать явления, ограничиваясь альтитудой в три яруса: нулевой плюс

один в высоту и плюс один в глубину. Например, объект рассматривается как единица нулевого яруса в сети связей с другими такими же единицами. Эта сеть связей относится к объекту первого высокого яруса. Если назвать его *надобъектом*, то рассматриваемый объект как целое имеет свою функцию в сети связей между частями надобъекта. Но в то же время элементы объекта являются представителями первого из глубоких ярусов, и каждый из них имеет в сети связей друг с другом свою функцию.

Условимся в этом случае называть функцию объекта в надобъекте его общей функцией, а функции каждого из элементов этого объекта – частными функциями объекта.

Рассмотрим теперь связи, которые задают общую функцию объекта, и связи, которые задают его частные функции.

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо углубить наши представления о том, что такое связь и свойство. Но для этого нам придется воспользоваться рефлексивной методикой введения элементарных понятий не только как средством определения того, какие понятия считать начальными, но и как способом уточнения понятий, введенных на более ранней ступени рефлексии, через понятия, введенные на основе первых. С формальной точки зрения такой прием совершенно недопустим.

Однако нетрудно заметить, что вводимые нами понятия более высоких уровней в основном не просто оказывались комбинациями начальных понятий нижележащих уровней, как это имеет место в строгих аксиоматических теориях. Понятия, на которые с формальной точки зрения опираются другие понятия, служат у нас в значительной мере лишь «затравкой» для мобилизации представлений, на которые новые понятия опираются фактически. Следовательно, информация, содержащаяся в понятиях более высоких уровней рефлексии, не исчерпывается информацией, содержащейся в тех понятиях, через которые даются определения и пояснения, и накопленная таким образом новая информация и делает

возможным уточнить через «выводимые» понятия сами первоисходные, «выводящие» понятия.

## 1.2. Системологические понятия и представления процессов технического обслуживания

Понятие связи при ТО объектов и систем является базовым, с которым связаны обменные процессы на всех структурных и организационных уровнях эксплуатации ВС.

Иными словами, все, что реально осмысляется как связи между обслуживаемыми объектами, проявляет себя как обмен этих объектов элементами своих глубоких ярусов, как их обязательное движение, благодаря которому элементы выходят из границ одного объекта и попадают в границы другого, в чем и проявляется природа связи как нарушения границ. При этом обмен может быть эпизодическим, периодическим или непрерывным, односторонним или взаимным, но все равно он остается обменом, движением, переходом через границы. Сказанное в равной мере относится к различным формам связи: физическим, химическим, биологическим, специальным – все они основаны на обмене.

Это дает нам право в дальнейшем опираться на весьма правдоподобную гипотезу, что любая связь между любыми объектами есть процесс, есть проявление движения как обмена между этими объектами, где обмениваемыми единицами являются элементы определенных глубоких ярусов связанных объектов.

Понимание природы связей как обменных процессов позволяет убедиться в том, что введенные выше понятия качественных свойств связи и граничных свойств связи – это не просто внешняя аналогия понятий качества объекта и граничных свойств объекта. Так как любой элемент на определенном ярусе рассмотрения сам есть объект со своими качествами, и основой связи являются обмениваемые элементы, то связь не может не

зависеть от особенностей своих элементов и, следовательно, от их качества. А так как элементы движутся, перемещаются, занимают на пути от одной границы к другой вполне определенные участки пространства в определенные интервалы времени, то пространственно-временные характеристики связи, т.е. ее граничные свойства, также получают вполне ясную онтологическую интерпретацию.

Связь как нарушение границы может характеризоваться видом нарушения. Если определенные обменные потоки истекают из объекта, проходя более или менее равномерно через все точки границы объекта (или втекают в любом месте границы), тогда как для обменных другого типа эта граница непроницаема (что и дает основание обнаружить наличие границы объекта в пространстве и во времени), то контуры границы есть одновременно и контуры ее нарушения. Следовательно, граничные свойства объекта совпадают с граничными свойствами связи. Так, противоположные явления (граница и «неграница», т.е. ее нарушение) оказываются представленными в своем единстве. В частности, это единство разделения и связи проявляется тогда, когда два объекта находятся в контакте и в то же время, благодаря диффузии элементов глубокого яруса, они взаимосвязаны обменными элементами.

Если же связь осуществляется как следствие не диффузных, а локальных нарушений границ объектов, то граничные свойства объекта и граничные свойства его связей контактируют в точках превращения одного в другое, но не совпадают. Именно в этом случае мы можем говорить о контакте связей через элементы объекта и рассматривать структуру связности объекта.

К граничным свойствам связей должны быть отнесены разнообразные параметры связи как процесса обмена: интенсивность, направленность, взаимность, скорость, закон изменения интенсивности, место истечения объекта обмениваемыми элементами и т.д. В частности, если в некотором масштабе времени за каждый измеряемый интервал времени между

объектами проходит такое количество элементов связи, что целесообразно измерять эти элементы не числом штук, а числом мерок, по отношению к «объему» которых отдельный элемент может рассматриваться как пренебрежимо малая величина, то связь можно назвать обменным потоком.

На основе представлений об обменных потоках вернемся к Понтию связности.

Очевидно, можно ощущать объект как связный лишь при условии, что обменные потоки, образуя сеть связей между элементами объекта, обладают (в масштабах наблюдаемых интервалов времени и пространства) «балансными» инвариантными характеристиками: потоки должны быть внутренне замкнутыми, образовывать циклы.

Если же какие-либо потоки втекают в объект и вытекают из него, то общий потока также должен быть сбалансирован.

Следовательно, говоря о функции элемента как о структурной характеристике связного объекта, мы подсознательно уже опирались на представление о балансной интенсивности потоков сети связей между элементами этого объекта.

Практически невероятно, чтобы совершенно случайные связи объекта, представляющие собой притоки и оттоки соответствующих обменных элементов, оказались также случайно сбалансированными в объекте и поэтому – устойчивыми. Но тогда необходимо предположить, что если такой баланс все-таки имеет место, то он является следствием замкнутости притекающих и оттекающих потоков вне рассматриваемого объекта. А это и должно означать, что существует объект более высокого яруса, надобъект, который являясь целостным, обладает связностью, и именно поэтому обменные потоки связи его частей должны быть тоже сбалансированы. По крайней мере некоторые из потоков не могут не быть замкнутыми; тогда баланс притоков и оттоков исходного объекта объясняется прежде всего тем, что исходный объект включен в структуру замкнутых циклов обменных

потоков связей частей некоторого надобъекта, и в этом смысле объект имеет свою общую функцию и сам представляет часть, элемент надобъекта. Иначе, наличие внешних связей объекта еще не есть его общая функция.

В практике ТО не существуют абсолютно изолированные объекты. При ТО отдельного объекта они связаны временными связями, либо с моделями отсутствующих объектов в ярусе.

Чем сильнее проявляет себя объект в многообразных видах связях объектов между собой или с внешней средой, тем с большим количеством рецепторов субъекта может он связываться, тем больше свойств обнаруживает субъект в этом объекте.

Все сказанное дает нам возможность осознать, что когда стремятся максимально глубоко представить своеобразие какого-либо свойства, его отличие от других свойств объекта, то рано или поздно нам необходимо охарактеризовать это свойство связью определенного вида. В простейшем случае это будут представления о наблюдаемой или наблюдавшейся связи данного объекта с другими объектами; в более сложном случае будем думать о режиме осуществления связи, например, о характере протекания обменного потока, о возможных и невозможных характеристиках протекания. В самом сложном случае постараются представить, как мог бы «вести себя» объект в определенных ситуациях, т.е., в конце концов, в какие виды связи он вступил бы, а в какие не вступил с «компаньонами» по этой ситуации, возникновению каких связей между объектами мог бы препятствовать.

Действительно, если связь, в нашем понимании, это нарушение границ как осуществляющееся, протекающее перемещение элементов, которыми обмениваются (односторонне или двусторонне) связанные объектов, то и до начала процесса обмена, до возникновения условий, приведших к обмену элементами вполне определенного вида, объект остается самим собой, носителем своих свойств, хотя и не проявляющихся через реализованные связи. Точно так же, если роль объекта выражается в таком его

«вмешательстве» в осуществление связей между другими объектами, которое препятствует протеканию обменных элементов между этими объектами, и, в частности, к отражению потока обменных элементов или изменению направления их протекания, то способность рассматриваемого объекта к осуществлению такого влияния на потоки обменных элементов присуща объекту и до того, как объект вмешивается в режим протекания обменного потока.

Следовательно, и качественные свойства, проявляющих себя в реализованных связях «положительно», через способствование поддержанию обменных потоков элементами определенного типа, и граничные свойства, наличие которых обнаруживается «отрицательно», через препятствия протеканию определенных обменных потоков в конкретных пространственно-временных координатах, присущи объекту и тогда, когда для проявления этих свойств нет благоприятных условий.

Таким образом, свойство объекта можно определить как его внутреннюю способность поддерживать (при определенных условиях) связи одних видов и препятствовать осуществлению связей других видов.

Хотя свойство объекта определено нами через виды связей, а виды связей зависят от граничных свойств этих связей, и от качественных свойств элементов, на основе обмена которыми осуществляется связь, в этом определении нет тавтологии. Свойства объекта – явление более высокого яруса, чем свойства связей, поэтому имеем право охарактеризовать свойства объекта через интуитивно ясные характеристики единиц более глубокого яруса, воспринимаемых вначале как неделимые.

Такое понимание свойств объекта, на основании обнаружения неоднородности которых вначале объект опознается как неделимая целостность, как «вещь в себе», а потом предстает как влияющий на «жизнь» других объектов, является основополагающим для оценки состояния

обслуживаемого объекта как конкретная целостность, способная выполнять свою функцию в надобъекте, т.е. обладающая заданными свойствами.

Качественные свойства или, более кратко, *качества* истолковываются в нашей системе начальных понятия прежде всего как проявление «истекательных» характеристик объекта, как проявление его активности включаться в связи, т.е. обменные потоки с другими объектами. Поэтому, как уже отмечалось, качества могут восприниматься или проявлять себя как различные в зависимости от того, каковы качества элементов, из которых состоят обменные потоки связи.

Кроме того, элементы одних и тех же качеств могут быть причиной проявления различных качеств объекта, если существенно различаются режимы потоков обменных элементов.

Если рассматривается целостный объект, то анализ его качества основывается прежде всего на обнаружении тех потоков, в которые он включен как элемент надобъекта, т.е. как «проточный» элемент в сети замкнутых обменных потоков надобъекта. Естественно, что обнаружение этих качеств будет одновременно и достаточно полной характеристикой функции этого объекта, и выразителем его целостности, ибо в качественных характеристиках не может не проявиться в этом случае балансность втекающих и вытекающих потоков.

В случае оценки его способности выполнять свом функции в надобъекте это будет соответствовать при ТО объекта заключению о его исправности.

Граничные свойства объекта, воспринимаемые прежде всего через рецепторы, определяющие пространственно-временные характеристики активности объекта включаться в связи определенного вида или препятствовать определенным видам связи других объектов, задают «качественную границу» объекта. И поскольку среди всех качеств, несмотря на их многообразие, удается выделить те, которые отражают факт целостности объекта, то и среди множественности качественных границ в

достаточно целостных объектах оказывается возможным установить такие, которые действительно характеризуют качественную определенность.

Если рассматривать целостный объект только как неделимое целое, то в этом случае граничные свойства совпадают с обычным представлением о пространственных формах и временных границах проявления объекта.

Если уровень рассмотрения более глубок и в объекте выделены элементы, то граничные будут включать и формы элементов.

Еще более детальное рассмотрение позволяет обнаружить связи объектов с другими объектами надобъектов и связи элементов друг с другом. Следовательно, это будет уже не форма, а новый класс граничных свойств объекта: общая функция объекта, например, объекта – распределительное устройство, частные функции, сеть связи элементов объекта и структура этой сети связей.

Из сказанного ясно, что термин «граничное свойство» действительно близок к философскому термину «количество» как антониму термина «качество», но содержит в себе возможности более тонкой дифференциации: пространственная форма, функция, структура.

Как будет показано дальше, понятие «количество» также войдет в число разновидностей граничных свойств.

Когда граничные свойства выявляются как «негативные», т.е. как препятствующие возникновению связей определенного вида, то через эти свойства «положительно» проявляют себя внутренние замкнутые потоки объекта, обеспечивающие вторую сторону его целостности. Следовательно, не только качества, но и граничные свойства могут отражать факт целостности объекта.

Выявив соотношение между представлениями о свойствах и представлениями о связях, можем охарактеризовать любое свойство (качественное и граничное) через указание своеобразия той связи, в которую

может вступить объект или возникновению которой он может воспрепятствовать.

Прежде чем перейти к вопросам системности, рассмотрим способности объекта принимать участие в процессах связывания с другими объектами. Это свойство объекта будем называть валентностью.

При таком понимании валентности оказываются учтенными и отнесенными к валентностям те граничные свойства, которые поддерживаются внутренними замкнутыми обменными потоками объекта и поэтому, казалось бы, изолируют объект от вступления в связи с другими объектами, т.е. лишают объект валентности. Дело в том, что «изолирующие», «экранирующие» границы объекта четко очерчивают его пространственные формы и создают условия для пространственного контакта этого объекта с другими объектами, т.е. снова характеризуют свойства объекта в терминах его валентностей.

Все многообразие свойства объекта можно описать сравнительно небольшим числом типов валентностей. Естественно, что этим будет углубляться истинная картина, но во многих случаях именно благодаря этому можно избавиться от излишней детализации, заслоняющей главное.

Пока свойство объекта остается только способностью, не проявившей себя в наличной наблюдаемой связи, будем называть его свободной валентностью как одной из разновидностей возможности. Если свойство реализовано в виде связей соответствующего качества, то будем называть его экстенциальной или просто занятой валентностью; она представляет собой одну из разновидностей действительности.

Очевидно, что наличие определенной занятой валентности объекта еще не есть полное проявление соответствующего свойства. Занятая валентность проявляет качество связи, к которой предрасположен объект, отражает одну из возможных комбинаций граничных свойств связи этого качества. Но каковы те пределы граничных свойств реализованной связи, в которых

объект может поддерживать данную связь – из наличия реализованной связи еще не вытекает. А эти пределы также являются характеристикой рассматриваемого свойства объекта.

В конкретных условиях определенного яруса объект имеет не только практически ограниченное число экстенциальных, занятых валентностей (например, распределительное устройство электроснабжения определенного типа ВС), но и набор наиболее легко обнаруживаемых (и, следовательно, отражающих наибольшую предрасположенность к проявлению) свободных валентностей. Поэтому валентности можно разбить на степени их «силы». Для занятых валентностей под силой можно понимать прочность этих связей, под силой свободных валентностей – степень предрасположенности их к проявлению и, следовательно, возможность их обнаружения (например, нарушение электрической изоляции между элементами и их связями). Введя хотя бы три градации силы, можно говорить о занятых валентностях как о сильных, слабых и отсутствующих экстенциях, а о свободных валентностях – как о сильных, или интенциях, о слабых, или потенциях, и, наконец, об отсутствующих свойствах.

Можно говорить также о свойствах явных, скрытых и неприсущих данному объекту, и это деление, при всей его условности, всеми используется на практике. Смысл такого различения свойств заключается в следующем.

Один и тот же вид связи, отождествляемый, например, на основе его локализации на границе объекта или на основе качеств обменных элементов, может во многих случаях быть изменчивым в том смысле, что, в зависимости от некоторых условий его нужно будет расценивать то как интенцию, то как потенцию или экстенцию. Это значит, что действительность может переходить в возможность, а возможность – в действительность. В простейших случаях, при заданных средствах выявления валентностей объектов, может быть обнаружено, что переход конкретной данной потенции

в интенцию и интенции в экстенцию или наоборот зависит только от внешних условий и не связан с судьбой всех остальных валентностей объекта (остаются они свободными или превращаются в занятые).

Однако в более сложных и в более важных для практики случаях на свойства объекта влияют не только внешние условия, но, возможно, также действия одних валентностей на другие. Например, некоторая данная валентность из потенции превращается в интенцию тогда, когда вполне определенные другие валентности переходят из интенции в экстенцию, т.е. в занятую реализованную связь.

Эти случаи служат примерами взаимодействия действительности и возможности: действительность подготавливается возможностью, а возможность может изменяться при изменении действительности.

К факторам такого перехода в пределах данного объекта должно быть отнесено наличие другого объекта в окрестностях первого при заданных внешних условиях. Назовем этот фактор окрестностными условиями объекта. Тогда для любой пары (тройки и т.д.) объектов, имеющих вполне определенные валентности, можно экспериментально или теоретически указать те их валентности, которыми они будут обладать, если, если при заданных внешних условиях эти объекты (например, пара объектов) окажутся в заданных окрестностях друг возле друга. Эти валентности будут характеризовать свойства каждого объекта в соотношении со свойствами другого, и если реально валентности не проявляют себя, а только оцениваются как возможные при соответствующих внешних и окрестностных условиях, то такие свойства сопоставляемых объектов будем называть отношениями.

Например, отношение для конкретного случая может иметь такую формулировку: панель генератора в системе электроснабжения ВС и электропривод стабилизатора системы управления им, находящийся в конструкции хвостового оперения, при подаче внешнего сигнала с пульта

управления летчика вступит в связь со стабилизатором и при этом будет перемещать его в заданное положение, или, с общих позиций, формулировка выглядит следующим образом: объект *А* и объект *Б*, находящийся от него в окрестностных условиях *В*, при внешних условиях *С* вступит в связь *Е* и при этом будет иметь интенцию *К* и утратит потенцию *М*.

Следовательно, отношения, хотя они не представляют наличных валентностей, также описываются в терминах интенций, экстенций и потенций.

Если рассматривать валентность объекта по отношению к определенной окрестности среди других объектов, то можно говорить о возможной функции этого объекта, т.е. о той функции, которая была бы у него, если бы он попал в окружение названных объектов. Но это будет функции не реальных валентностей, не функция сети связей, а функция отношений: экстенциальных, интенциальных и потенциальных.

Можно рассматривать также отношение определенных окрестностных условий к тому или иному объекту. Это отношение будет характеризовать те экстенции, интенции и потенции объектов, задающих эти окрестностные условия, которые возникнут, или данный конкретный объект попадет в эти окрестности.

Таким образом, реальный, экстенциальный набор связей и интенциальный набор, предрасположенный к другим связям в объектах можно рассматривать как зависящий и от внешних, и от внутренних, и от окрестностных условий, причем сами внутренние условия могут быть следствиями предшествующих внешних окрестностных и внутренних условий.

Несмотря на то, что при таком подходе свойства выражаются в терминах связей, отождествления связей и свойств при этом не происходит, так как учитываются не только экстенции, но и скрытые валентности (интенции и

потенции), т.е. валентности как способности, как возможности, а не как одни лишь явные связи, как наблюдавшаяся действительность.

В процессе эксплуатации реальных объектов на них действуют различные факторы, вызывающие изменение их свойств и отношений.

Для рассмотрения этих вопросов введем очень важное понятие состояния объекта.

Назовем любую комбинацию свойств объекта, определяемую составом занятых и свободных валентностей объекта с их конкретными граничными свойствами в определенных пределах внешних и окрестностных условий, состоянием объекта, а совокупность состояний, возможных в различных условиях, областью возможных состояний объекта.

В терминах состояний постараемся рассмотреть вопрос о факторах изменения свойств объекта.

Если зафиксировать свойства среды, т.е. внешние и окрестностные условия, то, естественно, резко уменьшится перечень возможных свойств объекта и их комбинаций. Эти свойства образуют уже только подобласть области возможных состояний объекта. Точно так же можно говорить о подобласти возможных состояний, если зафиксировать занятые валентности, а изменять только внешние условия.

Естественно, что некоторые из подобластей этих двух видов пересекаются, т.е. один и тот же состав свойств объекта, одно и то же состояние (или подобласть состояний) может быть получено разными путями. Например, свойства могут оказаться одинаковыми, когда занятые валентности имеют состав $A$, а свойства среды – состав $B$, или же занятые валентности представлены в составе $C$, а свойства среды – в составе $E$.

Состав свойств можно иногда рассматривать упрощенно, только через состав тех способностей к вступлению в связь, которые представлены экстенциально, т.е. без учета тех изменений в свойствах, которые выражаются в составе скрытых валентностей (интенций и потенций).

Например, если в определенном диапазоне внешних и окрестностных условий у двух объектов экстенциальные связи остаются одинаковыми и неизменными, то при упрощенном подходе можно считать, что у этих объектов свойства также остаются неизменными, если даже фактически в разных участках этого диапазона интенции объектов различны, т.е. объекты имеют разные состояния в области своих возможных состояний.

Точно так же при упрощенном подходе отношения двух объектов к третьему могут считаться одинаковыми, если в расчет берутся возможные только экстенциальные связи с этим третьим объектом и не оцениваются интенциальные и потенциальные.

Теперь остановимся на случае, когда внешние условия объекта остаются неизменными, а связями с другими объектами можно пренебречь, считая, что окрестности «совершенно пусты».

В этом случае свойства будут определяться способностью объектов иметь ту или иную силу связи (потенцию, интенцию или экстенцию) по отношению к определенным другим объектам, а сама эта способность будет отражать возможность возникновения незамкнутых, проточных потоков связи между элементами объектов при наличных замкнутых связях. Грубо говоря, свойства объектов как их валентности, при заданных внешних условиях, могут изменяться за счет изменения только внутренних условий, приводящих к перераспределению внутренних замкнутых потоков связи и внешних «проточных».

Совершенно ясно, что это соотношение должно зависеть от свойств элементов объекта и от того, какие взаимные окрестностные условия они создают друг для друга. А если так, то понятно, что в ряде случаев уже одно только варьирование относительных окрестностных условий, т.е. сближение элементов, удаление их друг от друга и перестановка в пространстве и во времени, может привести к изменению структуры сети связей между ними и далее к изменению либо качества, либо граничных свойств объекта как

целого. Следовательно, при этом будет изменяться область возможных состояний объекта.

Еще более очевидно, что если просто изменить состав элементов объектов, например, изъять некоторые из них из окрестности, допускающей взаимодействие, то это может привести к изменению структуры внутренних потоков и, следовательно, свойств целого.

Иными словами, если изменять внутренние граничные свойства объекта или качественные свойства его элементов, то будут изменяться качественные и граничные свойства объекта как целого, что проявится в варьировании состава, качества и граничных свойств валентностей объекта, т.е. в варьировании области его возможных состояний.

Таким образом, хотя и в несколько более детальной формулировке, мы пришли к известному закону диалектики о переходе количественных (у нас граничных) характеристик объекта в качественные и наоборот. Детализация же выражается в том, что, во-первых, можно конкретнее указать, в чем проявляются «количественные» изменения: в перестройке полной структуры сети связей объекта или только структуры связности, или «ячеистой структуры»; во-вторых изменение качества целого можно охарактеризовать в терминах связей или отношений как экстенции, интенции или потенции, различая внутренние и внешние потоки связи.

Это дает, в частности, возможность сопоставлять такие, на первый взгляд, разнородные характеристики объектов, как функции и свойства, связи и отношения, и оценивать степень их взаимного соответствия, через которое в конечном счете, постараемся определить, какой тип объектов наиболее целесообразно отнести к классу систем.

## 1.3. Понятия и определение системы

Рассматривая объекты ТО и их взаимосвязи в тех случаях, когда важен учет факта их адаптированности, т.е. учет той или иной степени их системности, будем называть объекты одних ярусов системами, объекты других ярусов, более высоких, надсистемами, объекты более глубоких ярусов – элементами и компонентами систем.

Исходя из этого распределения систем, в частности систем ВС, рассмотрим фундаментальные понятия адаптации и связанные с ним адаптированные объекты как основы системности.

Пусть задан надобъект $B$, в число элементов которого входит объект $A$, связанный в сети связи с рядом других объектов, образующих окрестностные условия для объекта $A$. Соответственно и объект $A$ входит в параметры окрестностных условий своих компаньонов по окрестности. Функция объекта $A$ является одной из частных функций надобъекта $B$, и совокупность всех частных функций элементов объекта $B$ обеспечивает выполнение его общей функции, баланс внутренних и внешних потоков связи.

Выполняя определенную функцию, т.е. имея, например, вполне конкретный набор явных валентностей, изменяющихся в пределах, в которых этими изменениями можно пренебречь как не влияющими заметно на свойства надобъекта $B$, объект $A$ находится в одной из подобластей своих состояний, входящей в область возможных состояний объекта $A$.

В качестве конкретного примера приведенного положения может быть использована система электроснабжения ВС (надобъект $B$), а элементом этой системы является панель генераторов (объект $A$), связанная в токораспределительной системе с распределительным и коммутационными устройствами, образующими эту систему, и, как следствие, окрестностные условия для объекта $A$.

Функция объекта *A* в надобъекте *B* может выражаться и в некотором закономерном изменении его состояния при изменении, скажем, в надобъекте окрестностных условий объекта *A*. Такая функция будет представлять собой в области возможных состояний просто точку (более или менее размытую в допустимых пределах), а траекторию, скорее всего замкнутую (и тоже более или менее размытую). Следовательно, и при «неизменном», и при закономерно изменяющемся состоянии объекта *A*, выполняющего свою функцию в надобъекте *B*, эта функция может быть охарактеризована областью требуемых функциональных состояний объекта *A*, обязательно включающейся в область возможных состояний этого объекта. Кроме того, неконтролируемые изменения условий не должны выводить объект *A* за границы допустимого размытия функциональных состояний.

Пределы изменения условий, при которых объект *A* остается в границах допустимого размытия функциональных состояний, можно назвать границами устойчивого функционирования объекта. Понятно, что объект *A* должен быть таким, чтобы границы устойчивого функционирования не выходили за границы неконтролируемых изменений условий объекта.

Представим теперь, что по причине неисправности или доработки объект *A* как один из элементов надобъекта *B* отсоединен от сети связей с другими (окрестностными) элемента надобъекта *B* и выдается за окрестности надобъекта.

Так как в окрестностных элементах разрываются связи, то нарушается баланс всех потоков связи надобъекта *B*, занятые валентности окрестностных объектов превращаются в свободные, экстенции становятся интенциями, а в соответствующем узле сети связей надобъекта возникает незанятое место, а точнее – вакантный узел в сети связей надобъекта *B* или просто вакансия, т.е. область требуемых функциональных состояний для нового элемента, способного войти в этот узел надобъекта.

Представим, что возникшая вакансия заполнена объектом $C$ из резерва агрегатов и узлов, область возможных состояний которого не совсем тождественна области объекта $A$. Это значит, что область возможных состояний объекта $C$ не полностью соответствует области требуемых функциональных состояний, задаваемых надсистемой.

Несоответствие может выразиться в том, что функция отношений объекта $C$ с окрестностными объектами в вакантном узле отличается от функции отношений объекта $A$ к этим объектам, причем таким образом, что область возможных состояний объекта $C$ в той или иной степени выходит за границы области функциональных состояний, которую имел объект $A$ и должен иметь объект $C$, что может быть связано с доработками объекта $C$.

Практически это может привести к тому, что некоторые из интенций окрестностных объектов не найдут выхода на связь с объектом С, а некоторые интенции объекта $C$ останутся свободными, когда он попадает на освободившееся после $A$ вакантное место в узле структуры связей объекта $B$. В подобных случаях будем говорить, что свойства объекта $C$ не согласованы с его функцией в структуре надобъекта.

Однако если вспомнить, что свойства любого объекта (т.е. область его возможных состояний) могут изменяться, если изменяется состав его элементов или их связей, если изменяется структура связей элементов или функции их связей при неизменности структуры, т.е. за счет изменения внутренних условий объекта, то станет понятно, что благодаря всем этим внутренним изменениям свойства как объекта $C$, так и объекта $B$, а также потенции, интенции и экстенции, свободные и занятые валентности объекта $C$ или окружающих его объектов могут измениться так, что степень согласованности свойств объекта $C$ с его функцией может начать уменьшаться или увеличиваться. В последнем случае область функциональных состояний объекта в данном вакантном узле включится в область возможных состояний объекта.

Процесс увеличения согласованности между свойствами объекта $C$ и определенной частной функцией в узле сети связей объекта более высокого яруса (объекта $B$) благодаря изменениям свойства объекта $C$ будем называть адаптацией объекта $C$ к своей функции в вакантном узле объекта $B$.

Соответственно процесс увеличения согласованности между свойствами и функцией объекта $C$ в узле связей объекта более высокого яруса (объекта $B$) за счет изменений свойств объекта $B$ будем называть адаптацией объекта $B$ к свойствам своего объекта $C$. В процессе адаптации второй разновидности в объекте $B$ формируется такая сеть связей между элементами, в которой узел, включающий элемент $C$, обеспечивает для этого элемента наличие такой частной функции, т.е. такой области требуемых функциональных состояний, которая согласована со свойства элемента, соответствует экстенциальной функции отношений объекта $C$ к окрестностным объектам. Иными словами, область требуемых функциональных состояний изменяется в таком направлении, чтобы «вписаться» в область возможных состояний объекта $C$.

Если же объект $C$ адаптируется к объекту $B$, область требуемых функциональных состояний остается неизменной, а область возможных состояний объекта $C$ смещается и деформируется в пространстве состояний до тех пор, пока в нее не окажется включенной область требуемых функциональных состояний.

В принципе возможно взаимное подстраивание: $C$ адаптируется к $B$, а $B$– к $C$.

Если надобъект $B$ адаптировался к объекту $C$, то возвращение $A$ на место $C$ сделает необходимой, для согласования свойства объекта $A$ с областью требуемых функциональных состояний, новую адаптацию: либо $A$ к $B$, либо $B$ к $A$.

Если же объект $A$ вернуть на место объекта $C$ после того, как $C$ адаптировался к надобъекту $B$, то свойства объекта $A$ окажутся

согласованными с областью требуемых функциональных состояний и объект $A$ сможет нормально функционировать в соответствующем узле сети связей надобъекта $B$.

Однако это еще не говорит о полной заменимости объекта $A$ объектом $C$ после его адаптации к $B$. Объект $C$ можно считать функционально эксивалентным. А лишь в том случае, если границы устойчивого функционирования адаптированного объекта $C$ будут не шире и не уже, чем границы устойчивого функционирования объекта $A$. Исходя из представлений о многоярусном строении объектов, мы имеем возможность говорить не только об адаптации объекта к надобъекту или надобъекта к объекту, но и об адаптации элемента к объекту или объекта к элементу и т.д.; на любом ярусе ввысь и вглубь.

В зависимости от того, на сколько ярусов вглубь успел распространиться процесс адаптации, можно говорить о глубине адаптации как о показателе степени оптимальности адаптирования, т.е. степени совершенства объекта.

Чем глубже адаптация, тем на более глубоком ярусе каждый элемент в сети связей с другими элементами своего яруса также является оптимально адаптированным объектом.

Если степень оптимальности адаптированного объекта при заданных условиях, т.е. пр наличных резервах материала и пределах изменения условий функционирования, достаточно велика, так что свойства объекта остаются в области требуемых функциональных состояний, то это значит, что изменения внешних условий приводят к таким перестройкам внутренних взаимодействий между элементами совершенного объекта, при которых варьирование внешних потоков остается незначительным, в пределах допустимых размытий.

Одной из необходимых характеристик объекта является его мера. Рассмотрев процесс адаптации, имеем возможность сказать, что наличие

четко очерченной меры, наличие ярко проявляющихся качественных скачков в свойствах объектов присуще объекту тем в большей степени, чем более длительной и тонкой была его адаптация к определенному функциональному узлу в надобъекте при заданных условиях, определяющих, в частности, и границы устойчивого функционирования. Иными словами, лишь оптимально адаптированные, т.е. лишь совершенные объекты имеют четко выраженную и не случайную меру, лишь они ярко демонстрируют проявление диалектического закона перехода количества в качество.

Именно такие объекты, объекты, имеющие ярко выраженную меру, оптимально адаптированные, совершенные, будем называть системами.

А так как четкость границ меры зависит от степени адаптированности объекта, от степени близости результатов адаптации к оптимуму, к совершенству объекта, то имеем право рассматривать любой объект как систему, если оговорена степень его системности. Эту степень системности можно измерять не только глубиной адаптации, но и «местом» на шкале с градациями от нуля до единицы, где величина, близкая к единице, приписывается оптимально адаптированной, совершенной системе при наложенных определенных ограничениях на условия функционирования, на резерв материала и на время адаптации. Поскольку не может быть адаптации безграничной глубины, то не может быть и абсолютной системности.

Что же касается нижнего предела системности, то «нуля системности», абсолютной системности, в реальности также быть не может, поскольку если нечто существует, то оно имеет интервал меры, хотя бы очень размытый и в узком диапазоне внешних условий.

Поскольку при диалектическом понимании системы как адаптированного, «ставшего», приобретшего свою меру объекта ничто реальное не может быть и абсолютно системным и абсолютно бессистемным, то все объекты внешнего мира – это и самостоятельные системы, и резерв материала, т.е. исходные объекты, из которых может формироваться

субстанция других систем. Следовательно, всякий резерв материала представлен объектами, которые в определенной степени являются системами со своими мерами, пределами устойчивости, достаточно четко сложившимися граничными и качественными свойствами. Но отсюда и вытекает известная неизбежность наличия у любого объекта «имманентных» («в себе и для себя» существующих в его изолированном состоянии) валентных характеристик как преимущественных предрасположенностей к вступлению в определенные виды связей «вне себя и для других» при тех или иных внешних и окрестностных условиях. Иными словами, наличие определенных свойств у объектов должно расцениваться как следствие их предшествующей адаптации, как следствие того или иного уровня их системности и как условие тенденции, интенции к восстановлению тех видов связей с другими объектами, которые определялись областью требуемых функциональных состояний данного объекта, когда он формировался как система в функциональном узле некоторой надсистемы, т.е. когда протекало его становление как системы, как целого с присущими ему свойствами.

В заключение этого раздела остановимся на принципиально важных для технической эксплуатации бортовых комплексов оборудования ВС таких как сущность, основание, функциональность и утилитарность систем.

Как указывалось выше, адаптация есть процесс, и, как всякий процесс, она требует определенных условий своего протекания.

Прежде всего для адаптации необходимо, чтобы было то, к чему адаптироваться, т.е. должно существовать вакантное место в надсистеме, представляющее собой, в конечном счете, заданные надсистемой окрестностные условия для формирующейся системы. Именно из этих окрестностных условий вытекает, какой должна быть область требуемых функциональных состояний системы, имеющей право быть включенной в надсистему как один из ее элементов, ее элементов, как компонент субстанции надсистемы.

Но после того, как определено, что «требуется», необходимо соотнести требования с тем, как можно их удовлетворить, каковы условия реализации требуемой системы. Эти условия определяются, во-первых, как мы уже видели, наличным резервом материала. Во-вторых, надсистема, и, следовательно, система всегда находятся в конкретных внешних условиях, имеющих границы своего изменения и определяющих, какими должны быть границы устойчивого функционирования формирующейся системы, какой должна быть ее мера. Эти внешние условия мы назвали ранее условиями функционирования.

Следовательно, область требуемых функциональных состояний должна быть реализуемой с учетом таких условий, как резерв материала и условия функционирования, и пока в процессе адаптации новая система не вошла в границы требуемых функциональных состояний, т.е. пока не приобрела требуемых функциональных свойств, в ней должны протекать перестройки, для того, чтобы неполнота адаптированности системы не стала причиной изменения режима функционирования надсистемы.

Бортовой комплекс ВС как надсистема должке включать адаптированные системы и быть способным в течение времени адаптации системы при ТО отдельной изолированной системы оставаться достаточно устойчивой и функционировать в надподсистеме, чтобы не только существовать, но и поддерживать стабильным функциональный запрос в соответствующем узле сети связей своих частей, являющихся основанием как отдельных систем, так и надсистемы.

Таким образом, наличие основания и наличие условий (как резерва материала и заданности условий функционирования) представляют собой перечень факторов, приводящих к началу возникновения, становления и «жизни» систем и надсистем.

Поскольку система с четкими границами меры не должна иметь, с точки зрения области требуемых функциональных состояний, избыточных свойств,

но представляет требуемые свойства в заданных окрестностных условиях, то кроме функциональных свойств, характеризующих прежде всего те потоки, на основе которых осуществляются важные для надсистемы взаимодействия адаптируемой системы, с окрестностными системами, в этой системе должны быть свойства, не являющиеся непосредственно функциональными, но имеющими отношение к функциональным; эти свойства должны служить средством внутреннего поддержания, стабилизации функциональных свойств, пока внешние условия не выходят за границы меры. Эти внутренние поддерживающие свойства могут опираться, в нашем понимании, на закрепление внутренних потоков, а также условий для этих потоков как обусловливающих в свою очередь, наличие функциональных потоков, задаваемых основанием.

Любая отдельно взятая система бортового комплекса оборудования ВС имеет специфический и достаточно ярко выраженный спектр интенций, сохраняет свою индивидуальность как следствие адаптированности к определенным окрестностным условиям функционирования. Но это значит, что степень адаптированности, степень системности и степень устойчивости оказываются характеристиками одного порядка. А так как устойчивость благодаря наличию замкнутых потоков, поддерживающих способность включаться в проточные функциональные потоки и тем самым обеспечивать замкнутость поддерживающих потоков подсистемы, то степень системности одновременно является и показателем степени целостности объекта.

Но поскольку замкнутые поддерживающие потоки связи содействуют в процессе адаптации формированию каналов, источников, резервуаров и преобразователей субстанции как функциональных потоков, так и потоков, их поддерживающих, то по мере адаптации эти каналы, резервуары и т.д. все больше превращаются из следствия функциональных запросов, из реакции на наличие заданного основания во внутреннюю причину наличия у системы ее качественных и граничных свойств, и вся эта совокупность складывающихся

внутренних причин свойств системы должна, по-видимому, расцениваться как конкретизация диалектической категории общности.

Если сущность – источник свойств объекта, проявляющих себя через взаимодействия, то любые из этих проявлений, возникают ли они регулярно или спорадически, прямым или многократно опосредствованным следствием данной сущности, нужно, по-видимому, определить как явление данной сущности, ибо «явление есть проявление сущности».

В такой трактовке те из явлений данной сущности, ради наличия или для поддержания наличия которых и формировалась данная сущность в процессе адаптации системы, следует определить как существенные свойства. Так, очевидно, что функциональные свойства попадут в число существенных. Но если необходимо выявить сущность системы, то желательно делать это по максимуму ее внешних проявлений, следовательно, в расчет должны браться не только существенные, но и любые другие свойства системы в их явлениях.

Когда же есть возможность проникнуть непосредственно внутрь адаптированной системы, изучить основу ее существенных свойств, т.е. рассмотреть компоненты сущности как телесные единицы соответствующих ярусов объекта, то свойства этих единиц лучше называть не существенными, а сущностными.

Конструктор и производитель может воплотить систему в материальную субстанцию только после того, как через сущностные свойства технически реализует сущность системы.

Следует также заметить, что степень сформированности сущности является еще одним показателем системности объекта, его целостности, его устойчивости в границах меры, а также четкости границ меры.

Чем глубже уровень адаптации объекта, т.е. чем ближе объект к оптимальной адаптированности, к совершенному состоянию при данном основании, тем в большей степени он является системой, тем полнее сформирована его сущность, тем определеннее спектр его свойств, область

его возможных состояний, его специализация, его интенция, его «привязанности» и «антипатии» к другим объектам.

А это значит, что четко ограничена область меры такого объекта, велика предрасположенность, неизбежность его вступления в одни связи и гарантия вступления в другие в каждом конкретном сочетании внешних и внутренних условий. И если эти условия заданы и поддерживаются именно такими, а не иными, то можно говорить о наличии необходимости возникновения соответствующих связей объекта, проявления соответствующих свойств или наступления неизбежных событий. А для достаточно надежного поддержания условий нужно, чтобы все соучастники взаимодействия, задающие эти условия, также представляли собой компоненты глубоко адаптированной системы, свойства которых согласованы со структурой этих взаимодействий.

Таким образом, диалектическая категория необходимости оказывается связанной с узловым понятием системного подхода – с системой. Необходимость представляет собой такую характеристику взаимодействия систем, которая пропорциональна прежде всего степени системности наименее совершенной из взаимодействующих систем (в том числе и среды как системы).

С другой стороны, так как по нашему определению степень системности не может быть предельной, равной единице, из-за того, что адаптация объекта не может быть бесконечно глубокой, а условия, в которых находится система, также не бывают абсолютно стабильными, иначе понадобилась бы бесконечная их адаптация ввысь, то, кроме необходимости, всегда существует и случайность, т.е. такие типы взаимодействий и такие процессы, которые, казалось бы, не вытекают из предрасположенностей объектов к взаимодействиям, определяемым сущностью объектов, противоречат их сущности.

Следовательно, и категория случайности связана с понятием системы, она также характеризует взаимодействие системы и может быть оценена как величина, пропорциональная в первую очередь степени «недосистемности» (т.е. степени отличия от совершенного состояния) наименее адаптированной из взаимодействующих систем (включая среду), т.е. снова наименее совершенной из систем.

Если надсистема имеет высокий уровень системности и функционирует в над-надсистеме в соответствующем функциональном узле, то внешние и внутренние потоки надсистемы согласованы, и в этом смысле между ними нет противоречия. Важно, что противоречие у нас не формально, а онтологично, телесно, как и сущность. Сущность надсистемы служит внутренней причиной как раз тех ее свойств, которые согласованы с основанием, образуют область требуемых функциональных состояний, задают границы меры, обеспечивают наличие поддерживающих потоков.

Однако в процессе «жизни» надсистем ничто не остается абсолютно неизменным. В частности, со стороны над-надсистемы может измениться запрос на граничные области требуемых функциональных состояний надсистемы, причем таким образом, что для исполнения новой функции понадобится упростить сеть обменных потоков в надсистеме, т.е. структуру взаимодействий составляющих ее систем.

Примером подобной ситуации является переход на резервный режим управления, в частности, с автоматического на штурвальный.

Если функциональный запрос к над-надсистеме изменился таким образом, что для наличия свойств, отвечающих новой области требуемых функциональных состояний, необходимо усложнить взаимодействия между компонентами надсистемы, то увеличение густоты сети обменных потоков делает необходимым ее разрежение за счет появления новых узлов и, следовательно, элементов, выполняющих роль «перераспределителей»,

«коммутаторов» и «диспетчеров» потоков обменных элементов для «снятия» противоречий между ними.

Пример этого варианта связан с введением новых режимов управления путем доработки надсистемы за счет включения новых блоков в автоматическую систему управления (например, вычислитель ухода).

Следовательно, в том участке надсистемы, где произошло наиболее сильное усложнение структуры, возникает основание, запрос на новую систему, способную своим наличием снять это противоречие, представляющее собой структурное переусложнение надсистемы. Оно остается не снятым, пока возникшей потребной функции еще не соответствует система со свойствами, делающими ее способной выполнять именно эту функцию.

По-видимому, здесь мы встречаемся еще с одной формой взаимодействия количественных и качественных характеристик развивающихся и функционирующих объектов, еще с одной разновидностью оптимизации качественных и граничных свойств системы. Усложнение структуры в нашем определении соотносимо с количественным ростом, ибо отражает рост роли внутренних граничных свойств объекта. Увеличение числа элементов объекта соответствует росту удельного веса внутреннего качественного начала, ибо состав элементов как основы субстанции целого характеризуется, прежде всего, качественными свойствами элементов. Тогда возникновение в надсистеме основания как потребности в новом элементе в связи с изменением запроса на ее функциональные свойства есть проявление внутреннего качественного скачка вследствие роста главного внутреннего количественного параметра – структуры надсистемы.

Но этот скачок имеет одно замечательное свойство. Вначале он представлен только фактом противоречия, выраженного телесно как ус ложнение сети потоков, как переусложненность схемы пересечений потоков, причем не как освобождение, а как рождение вакансий для нового элемента,

который должен ликвидировать эту переусложненность, когда он сформируется.

С момента появления основания оказываются заданными запросы на функциональные свойства новой системы с ее сущностью, но тем острее чувствуется отсутствие такой системы как новое противоречие в надсистеме. К тому моменту, когда уже возникло основание, новая система предопределена, «она есть раньше, чем она существует».

Для закрепления функциональных свойств основание, как уже видели, должно привести к возникновению «внутреннего основания» этой системы, к возникновению ее телесной сущности. А для этого, как уже рассматривалось при введении понятия адаптации, нужны условия, сводящиеся к наличию резерва материала и заданности условий функционирования.

Следовательно, сущность формирующейся системы получает окончательные свои определения лишь тогда, когда после возникновения основания конкретизируются условия создания и функционирования системы.

Таким образом, основание, разрешая противоречие, противоречиво в самом себе, что и служит движущей силой для разрешения нового противоречия.

После уточнения онтологической природы понятия основания и условия можно видеть, что приведенное выше определение понятия системы не есть аналог понятия вещи, факта, события или объекта как непосредственной данности, наблюдаемой только через те свойства, которые лежат на поверхности, т.е. которые представляют лишь явления некоторой открытой для нас сущности. Для нас система – это и условие и основание объекта или события, и процесс становления его сущности, и его «выхождение» в телесное воплощение, и тенденции его дальнейших изменений.

Следовательно, система, в нашем понимании – это внешний, материальные, телесный «оригинал» того, чему в диалектике соответствует понятие «суть дела».

Таким образом, система, в излагаемой концепции системного подхода – это онтологический, телесный аналог не вещи, а суть, понятия вещей, во всей полноте его противоречивых сторон как основы развития. И наоборот, «суть дела» как категория диалектически – это понятие не о вещи, а о системе.

Но если система, в рассматриваемой системологической концепции, – это не абстрактное понятие и даже не просто телесная вещь, а именно «суть дела», то, очевидно, что изучение свойств систем, различение и отождествление систем не может опираться только на те приемы, которые разработаны для сравнения и отождествления вещей как наличных явлений в определенной синхронической плоскости. Нужны дополнительные специфические приемы работы с объектами как системами, т.е. как с сутью дела. Важнейшим из таких приемов является сравнение систем на основе сравнения их детерминант, имеющее принципиально важное значение на всех этапах их «жизни».

Для установления принципов сравнения систем между собой необходимо ввести ряд новых, хотя и достаточно очевидных (в свете изложенного ранее) понятий.

Начнем с понятия траектории развития системы, в котором связывается воедино непрерывная последовательность всех ступеней, всех «моментов», всех фаз развития, всех этапов адаптации системы, от момента появления основания до времени, когда система станет практически соотнесенной (т.е. достигнет заданного порога оптимальной адаптированности). Тогда две системы с одинаковыми основаниями и условиями можно сравнивать по их фазе на траектории развития, определения, какая из двух систем ближе к совершенному состоянию, глубже адаптирована, имеет более четкие границы

меры, более ярко проявляющуюся сущность, чем другая. Если измерять эту фазу в доле траектории развития, то степень системности двух систем можно сопоставлять даже тогда, когда у них – различные основания, например, когда они адаптируются в разных функциональных узлах надсистемы.

Но две системы могут отличаться друг от друга и тогда, когда у них тождественны и основания, и фазы развития, но не совпадают условия.

В этих случаях у систем могут быть различными предельные, совершенные состояния и, следовательно, свойства и особенности сущности на всей траектории развития. Это фактически означает, что различными будут траектории развития в пространстве свойств адаптирующихся систем и, естественно, конечные точки этих траекторий. Общей окажется только исходная точка этих траекторий, ибо она задается тождественным основанием.

Нетрудно установить и причины этих различий: сущности формирующихся систем при тождестве основания не могут быть тождественными тогда, когда различаются либо резервы материала, либо условия функционирования этих систем. При этом функциональные свойства таких систем должны совпадать, следовательно, различие сущностей проявится только в несовпадении тех конкретных способов, с помощью которых внутренние свойства систем поддерживают функциональные свойства.

Своеобразие условий, в которых складывается индивидуальность двух систем с одинаковыми основаниями, становится определяющим параметром для сравнения этих систем. Поэтому такое своеобразие условий было названо детерминантой (определяющей характеристикой) системы.

А так как условия конкретно зависят либо от особенностей резерва материала («материальные условия»), либо от особенностей условия функционирования («кондициальные условия»), то и детерминанта системы может быть либо материальной, либо кондициальной.

При сравнении реальных систем между собой наиболее типична ситуация, когда тождественны и основания, и резервы материала этих систем. Следовательно, отличие между ними заключается, как правило, в несовпадении фаз адаптации (степени совершенства при заданном основании) и условий функционирования. Поэтому, если нет особой оговорки, то под различием детерминант будет подразумеваться различие кондициальных детерминант, т.е. своеобразие условий функционирования. Системы, у которых совпадают основания и условия (и, следовательно, материальные и кондициальные детерминанты), имеют совпадающие полные траектории развития. Следовательно, отличие их может заключаться только в несовпадении фаз развития. Если же у таких систем совпадают и фазы, то мы вправе рассматривать их как экземпляры одной и той же системы.

Различие детерминант как условий приводит к развитию сущностей и, следовательно, к различию существенных свойств, вытекающих из этих сущностей, в той мере, в какой сущность зависит не только от основания. А так как в системе с глубокой степенью адаптации и, следовательно, с четкими границами меры, все нефункциональные свойства подчинены поддержанию функциональных, то значение основания и существенного свойства, вытекающего из детерминанты, позволяет понять внутреннюю логику и состояния и развития системы, даже в тех случаях, когда еще не найдена формулировка детерминанты. Таким образом, специфическое существенное свойство, являющееся прямым следствием детерминанты, также может быть характеристикой специфики системы и в этом смысле – тоже детерминантой, но внутренней.

Так как сущность системы, в нашем понимании, формируется для удовлетворения функциональных вопросов надсистемы в ее определенном вакантном узле, то наиболее полно сущность выявляется через те существенные свойства системы, которые функциональны.

Прочие существенные свойства системы, как отмечалось, складываются в ней в процессе ее адаптации лишь для поддержания функциональных свойств при данном резерве материала и данных условиях функционирования.

Поскольку абсолютной системности объект никогда не достигнет, то, кроме существенных свойств он может проявлять и несущественные. Но они уже не являются функциональными. Следовательно, пока объект функционирует в том вакантном узле, в соответствии с запросами которого формировалась сущность объекта, можем говорить, что практически из функциональности вытекает и существенность.

Условимся называть свойства системы, рассматриваемой лишь в аспекте ее пригодности занять определенный вакантный функциональный узел в надсистеме, утилитарными (для надсистемы). Тогда можно говорить, что пока система адаптируется в надсистеме, и пока протекает процесс формирования сущности системы и приближения ее к совершенному состоянию, существенные свойства, будучи функциональными, все меньше отличаются от утилитарных.

Но если система попадает в другой функциональный узел, то даже если ее свойства позволяют ей функционировать в этом узле, функциональные свойства, будучи утилитарными, могут значительно отличаться от существенных. И только если начнется процесс адаптации системы к новому вакантному узлу, то сущность объекта будет перестраиваться таким образом, чтобы снова существенные свойства связи стали и функциональными, и утилитарными. Поэтому и сам процесс адаптации объекта к некоторому функциональному узу надсистемы, процесс утраты этим объектом его исходной сущности и приобретения новой сущности, переводящей адаптируемый объект из разряда материала в разряд компонента субстанции адаптирующей надсистемы, можно теперь охарактеризовать с новой стороны: как процесс снятия противоречий между утилитарностью и

существенностью функциональных свойств объекта и выработки новых существенных свойств, являющихся функциональными и утилитарными.

Такое разграничение функциональности, утилитарности и существенности и уточнение механизмов их взаимоперехода в процессе адаптирования системы к надсистеме позволяет нам избежать весьма распространенного, но двусмысленного употребления термина «существенное свойство».

Тока надсистема имеет свою сущность и хорошо адаптирована к над-надсистеме, ее функциональные свойства и существенны, и утилитарны по отношению к над-надсистеме.

Если же по какой-либо причине в надсистеме образовался вакантный узел, то для сохранения всех существенных ее свойств и, следовательно, для сохранения ее функциональных свойств, в надсистеме возникшую вакансию должна занять новая система, способная выполнять требуемую функцию, т.е. имеющая в составе своих свойств такие, которые необходимы для вакантного функционального узла.

Рассмотренные выше методологические аспекты, понятия и определения формируют концепцию системного подхода, базирующуюся не на формально-аксиоматической, а на онтологической основе, ориентированной на такую формулировку основных понятий и закономерностей системного подхода, которая допускает инженерную интерпретацию и может быть не только средством описания и осмысления природы реально существующих систем, но и их поведения в процессе эксплуатации.

Таким образом, принципиальная необходимость выйти за пределы формальной логики при разработке принципов индуктивного обобщения, без которого невозможно содержательное человеко-машинное общение, имеет в настоящее время строгое обоснование. Однако в данной работе ниже доказывается необходимость принципиального использования формального аппарата при решении наиболее сложных задач технического обслуживания

и ремонта в рамках человеконаполненных систем эксплуатации ВС, противопоставляя телесность, субстаниальность технических систем бестелесности их структурных моделей, необходимость очертить тот круг явлений, описание и конструирование которых может и должно опираться, в первую очередь, на строгий формальный аппарат логики и математики в современном понимании этих терминов. Этот круг ограничивается глубоко адаптированными системами, являющимися основой бортовых комплексов ВС.

Через это ключевое для излагаемой концепции представление о сущности адаптивности необходимо показать, что само понятие формального имеет немалые резервы расширения без утраты строгости. В связи с этим интересно отметить современные попытки обогащения исходных понятий оснований математики, разработку более богатых и необычных с традиционной точки зрения теорий, направленных на учет онтологии исследуемых сущностей.

## 1.4. Статика и динамика состояния сложной системы. Понятия, определения и представления

После проведенного выше уточнения понятия системы как диалектической категории «сути дела», после онтологизации ряда иных философских категорий и после введения представлений о процессе адаптации как о материальном согласовании, как о разрешении онтологических противоречий в системе, имеется возможность взглянуть с несколько новых позиций на проблему природы отражения и перейти далее сначала к общесемиотическим, а потом и собственно лингвистическим аспектам представления поведения сложных систем. При этом в чисто физических, химических и прочих объективных процессах функционирования сложных систем будем стараться усматривать наличие

тех предпосылок, тех субстратных явлений, без которых не могли бы развиться высшие формы отражения.

Отражения имеют принципиальное значение и в инженерной практике разработки языковых проблем ТО, ибо невозможно заниматься поиском путей технической реализации передачи мыслительного содержания с помощью условных знаков, если не доказано, что хотя бы более низкие уровни отражательных процессов, таких, например, как специфическая реакция на различные физические характеристики объектов, способность обучиться опознавать эти объекты и т.д., может в технических устройствах опираться на исходные свойства материи, «родственные с ощущениями».

К настоящему времени накоплено уже немало научных аргументов в пользу того, что нет «непроходимой грани между живой и неживой материей, с одной стороны, и ощущением и сознанием, с другой».

Из того факта, что текущее состояние объекта или системы как совокупность его свойств, определяющих набор валентностей взаимодействия, зависит от окрестностных условий, следует, что объекты близких или тождественных сущностей в одинаковых окрестностных условиях имеют близкое или тождественное деление валентностей на экстенции, интенции и потенции. Это особенно очевидно тогда, когда такие объекты создают для себя самих взаимные окрестностные условия.

Рассматривая проблему природы отражения, сначала будем иметь в виду системы, возникшие на основе связей более или менее однородных компонентов (автоматическая бортовая система управления). В этом случае очевидно, что если какая-либо внешняя причина, например, воздействие на данную систему, вызовет изменение структуры уже установившихся, экстенциальных связей между компонентами данной системы, то следствием этого может быть влияние изменившихся экстенций верхних ярусов на структуру потоков и на соотношение интенций и потенций компонентов более глубоких ярусов данной системы.

Если внешняя причина, изменившая взаимные окрестностные условия между однородными объектами надобъекта, исчезает раньше, чем успели произойти заметные глубинные адаптации к новым распределениям потоков связи между компонентами высших ярусов системы, то исчезновение внешней причины может сопровождаться восстановлением исходных окрестностных условий между этими компонентами, т.е. восстановлением исходной структуры их экстенциальных валентностей.

Однако если внешняя причина поддерживает извне изменение окрестностных условий между компонентами данной системы так долго, что на глубинных ярусах этих компонентов успевает произойти адаптация элементов к новой структуре более высокого яруса, то исчезновение этой причины может оказаться недостаточным фактором для того, чтобы исходная структура экстенций между объектами надобъекта восстановилась полностью. Перестройка глубинных элементов компонентов рассматриваемой системы приведет в этом случае к изменению валентностей самих этих компонентов, и набор их интенций и экстенций может оказаться другим. А поскольку теперь возникнет новая структура экстенциальных связей между компонентами, то элементы этих компонентов уже не будут находиться в исходных условиях по отношению к потокам связи на более высоких ярусах, и следствия адаптации, вызванные хотя и временным, но достаточно долгим воздействием внешней причины на совокупность объектов, в той или иной мере останутся и закрепятся как новое состояние отражающего объекта, выражаемое в появлении следа воздействия.

Рассмотренная нами картина возникновения следа является иллюстрацией существенных сторон таких изменений состояний сложных систем, например системы встроенного контроля Автоматической Бортовой Системы Управления (АБСУ), под влиянием внешних воздействий, которым в технике контроля соответствует понятие реакции на это воздействие механики – деформации.

Условимся с общих позиций процесс изменения любого состояния одной подсистемы или сложного объекта, как следствие воздействия на нее другой подсистемы или объекта, называть отражением; результат отражения – следом или реакцией; объект, испытывающий воздействие, которое проявляется в виде возникновения следа этого воздействия, назовем отражающим объектом (системой), а объект (система), взаимодействие с которым послужило причиной возникновения следа – отражением.

Таким образом, возникновение реакции деформаций будет расцениваться как одна из форм возникновения следа воздействия одного объекта на другой объект, как одна из форм результата отражения.

Объекты в процессе отражения могут взаимно влиять друг на друга, взаимно деформировать друг друга, так что следы после взаимодействия останутся на обоих объектах. Однако для анализа механизмов отражения первоочередной задачей является рассмотрение таких взаимодействий между объектами, при которых можно считать, что один объект воздействует на другой заметным образом, но воздействием второго на первый можно пренебречь. В этом случае отражающий объект можно называть также пассивным, а отражаемый – активным. Кроме того, часть активного отражаемого объекта, которая находится с пассивным объектом либо в контакте, либо влияет на пассивный субстанцией потоков связи, т.е. ту часть активного объекта, которая своими экстенциальными потоками непосредственно изменяет структуру потоков связи компонентов отражающего объекта, назовем активной частью отражаемого объекта. Тогда ту часть отражающего объекта, в которой произошли те или иные виды деформации непосредственно под влиянием активной части отражаемого объекта, назовем первичной реакцией, прямым следом или, с общих позиций, первичной деформацией.

Исходя из представлений о потоковой природе взаимодействий реальных объектов и механизмов их адаптации, можно не только по-новому

истолковать процессы возникновения реакций или деформаций как условий возникновения следов воздействия отражаемого объекта на отражающем, но и вскрыть потенциальную возможность таких следствий взаимодействий этих объектов, которые уже соотносимы с привычными понятиями контроля электротехнических объектов или механики, но имеют первостепенное значение для вычисления природы более тонких видов отражения.

Примером реализации таких понятий является адаптированная система, включающая объект контроля и систему контроля (ОК–СК) для оценки состояния объекта контроля, где отражающим объектом является ОК, состояние контроля которого проверяется СК, состоящей из активной части, формирующей поток воздействия ОК, часть которого реагирует на воздействия активной части СК, деформируя компоненты ОК.

Обратим теперь внимание на ряд хотя и очевидных, но требующих подчеркивания фактов.

Во-первых, ясно, что прямой след, будучи непосредственным следствием воздействий активной части отражаемого объекта на отражающий объект, не может не иметь некоторых свойств, совпадающих со свойствами активной части отражаемого объекта. Даже если первичный след – это простая механическая вмятина, то определенные особенности структуры активной части отражаемого объекта окажутся навязанными этому следу, и след, в той или иной степени, уподобится активной части. Поэтому справедливо считать, что в определенной мере сам отражающий объект уподобится отражаемому.

В общем случае появление прямого следа приведет к изменению не только экстенций, но и интенций компонентов отражающего объекта в месте следа. Но это изменение интенций может привести к возникновению новых экстенций уже за границами первичного следа.

Отсюда вытекает новое заключение: если первичный след – это деформация отражающего объекта под влиянием внешнего фактора,

например, воздействия активной части отражаемого объекта, то, возникнув в отражаемом объекте, первый след может сам превратиться в активный внутренний фактор последующей, вторичной деформации отражающего объекта, причем эта вторичная информация, захватив большую или меньшую полосу за границами первичной, т.е. за границами прямого следа, может быть соотнесена с определенной полосой активной части отражаемого объекта.

Свойства полосы вторичной деформации, возникающей вокруг прямого следа, могут не иметь ничего общего со свойствами соответствующей полосы вокруг активной части отражаемого объекта, так как навязываются природой компонентов не отражаемого, а отражающего объекта, и тогда степень подобия между отражаемым и отражающим объектом останется той же, какой она была до возникновения вторичной деформации в отражающем.

Вторичная деформация выразится в этом случае лишь в степени изменения подобия отражаемого объекта самому себе: без вторичной деформации эта степень изменения была бы меньше, чем при наличии вторичной. В частности, поскольку вторичная деформация может тоже оказаться активным внутренним фактором, то первичная деформация должна тогда рассматриваться как «спусковое воздействие» для цепи последующих изменений свойств отражающего объекта.

Так как в рассматриваемой концепции все связи и взаимодействия и, следовательно, перестройки структуры объекта истолковываются в терминах потоков субстанции связей, и накопление внутренней энергии следует понимать как аккумуляцию субстанции связи, например, в виде циркулирования внутренних замкнутых потоков, а освобождение внутренней энергии – как разрыв, размыкание таких внутренних потоков, их вмешательство в другие потоки связи, в частности, изменение структуры этих других потоков.

Поскольку при оценке состояния объекта или системы важен лишь факт наступления реакции или деформации, первичное воздействие и его

первичный след будем называть спусковым по отношению к вторичным процессам деформации.

Естественно называть результаты вторичной деформации косвенным следом.

Рассмотрим теперь случаи, когда косвенный след возникает под влиянием воздействий, которые уже нельзя назвать спусковыми.

Представим, что и отражающий, и отражаемый объект – это глубоко адаптированные системы, причем сформировавшиеся при подобных основаниях и резервах материала, например, (СВК–САУ). Ясно, что сущности таких объектов и их компонентов будут также весьма близкими. Нетрудно догадаться, как скажется эта близость на особенности вторичной деформации после возникновения прямого следа воздействия отражаемого объекта на отражающий.

Компоненты отражающего объекта окажутся подчиненными тем же законам изменения валентностей, тем же внутренним зависимостям перехода интенций в экстенции, потенций в интенции и т.д., что и компоненты отражаемого активного объекта, и поскольку, как установили выше, прямой след не может не быть в определенной мере подобным (по свои свойствам) активной части отражаемого объекта, то и вторичные последствия этого подобия тоже не могут не быть в той или иной степени подобными. Иными словами, полоса вторичной деформации вокруг прямого следа на отражающем объекте будет также в некоторой мере уподобленной по своим свойствам соответствующей полосе вокруг активной части отражаемого объекта, причем тем в большей мере, чем более подобна субстанция объектов, чем ближе были основания, формирующие сущность компонентов этой субстанции, чем более одинаков «опыт материала», послужившего субстратом формирования субстанции, несмотря на то, что полоса вторичной деформации вокруг следа не испытывала прямого воздействия со стороны соответствующей полосы отражаемого объекта.

Очевидно, что вторичная деформация, т.е. косвенный след, увеличивает в этом случае степень уподобления отражающего объекта отражаемому и что рассмотренная разновидность отражения, явно выходящая за рамки представлений о механических деформациях, имеет, тем не менее, универсальный характер, ибо не может быть в природе объектов с такими субстанциальными характеристиками, в которых вообще не содержалось бы ничего общего. Ясно также, что степень этой общности субстанции может варьироваться в очень широких пределах, и поэтому уподобление взаимодействующих объектов за счет возникновения вторичного, косвенного следа вокруг первичного может быть и таким, что дает заметное добавление к подобию, вызванному возникновением первичного следа, и, таким образом, фактически является пренебрежимо малым по сравнению с подобием, вызванным первичной деформацией.

Естественно, что механика имеет дело с взаимодействиями второй разновидности, упругими, неупругими и спусковыми, а анализ природы отражения должен быть направлен на рассмотрение взаимодействий первой, обеспечивающей за счет вторичной деформации заметный прирост к тому уровню подобия отражающего объекта отражаемому, который получен на стадии первичной деформации как подобие характеристик прямого следа характеристикам активной части отражаемого объекта.

Поскольку это дополнительное подобие косвенного следа фактически предвосхищает то, что было бы с прямым следом отражающего объекта, если бы расширилась зона, раздвинулись границы активной части отражаемого объекта, т.е. что было бы, если бы воздействие активного объекта на пассивный было в том или ином отношении более полным, то назовем этот вид отражения вторичной, но не спусковой деформации антиципацией, т.е. «предвосхищением», «опережением» того, к чему следует произойти при определенных условиях лишь в будущем. Таким образом, косвенный, вторичный след может быть антиципативным.

По-видимому, возможность протекания антиципации, т.е. антиципативных видов отражения на физико-химическом, очень важном для нас электрическом и электронных, уровне в объектах реальной действительности, и должна оцениваться как то свойство материи, которое «по существу родственно с ощущением» или, во всяком случае, является непременным условием возникновения способности к ощущению и к другим более высоким формам отражения на определенном уровне усложнения систем.

Антиципация сходна с косвенной деформацией при спусковых воздействиях в том отношении, что будучи также вторичной, она протекает, во-первых, на основе энергии, запасенной отражающим объектом до акта взаимодействия с отражаемым, и, во-вторых, подобие состояния отражающего объекта своему исходному состоянию вследствие вторичной деформации уменьшается. Но при спусковом воздействии отношение между отражающим и отражаемым объектом этим и ограничивается, а при антиципации степень их подобия благодаря возникновению косвенного следа возрастает.

По-видимому, трудно было бы прийти к представлениям о косвенном следе как способности всех телесных объектов к тому или иному уровню антиципации, если бы мы не имели в своем распоряжении таких конкретизаций категорий материалистической диалектики, которые позволили нам осмыслить понятие системы как телесного аналога диалектического понятия «суть дела».

Теперь, продолжая извлекать содержательные следствия из системы рассмотренных категорий, перейдем к вопросу о важнейших видах самих антиципаций, о разновидностях предвосхищающих косвенных следов.

Антиципация может осуществляться многократно или однократно, в зависимости от того, какова деформация отражающего объекта, приведшая к возникновению следа: упругая или неупругая. Однако в том и другом случае,

мы пока что рассмотрели универсальную антиципацию, если понимать под универсальностью отсутствие каких-либо ограничений на то, осуществлялось или не осуществлялось до данного универсального акта антиципации взаимодействие отражающего объекта с данным (или с данной активной частью отражаемого объекта). Эффективность антиципации, которую можно оценивать по доле прироста подобия отражающего объекта отражаемому после антиципации по отношению к подобию только в результате возникновения прямого следа, зависит, если она универсальна, только от того, какова степень близости «внутреннего опыта» компонентов отражающего и отражаемого объекта, степень близости валентных особенностей этих компонентов, глубина ярусов, на которых компоненты взаимодействующих объектов остаются носителями близких сущностей.

Поскольку понятие антиципации опирается на представления о приросте подобия отражающего объекта отражаемому в результате возникновения вторичного, косвенного следа на отражающем, а подобие характеризуется близостью свойств объектов, то естественно различать виды антиципации и на основании того, какой тип свойств дает наибольший вклад в увеличение подобия отражающего объекта отражаемому после возникновения антиципативного следа. Так можно получить возможность разделить антиципации по виду отражаемых свойств на две наиболее важные разновидности: статические (или пространственные) и динамические (или временные).

Если по отношению ко времени, в течение которого осуществляется процесс антиципации, отражаемый объект остается более или менее неизменным, статичным, проявляющим свое многообразие лишь в пространственных координатах, то косвенная, антиципативная деформация, распространяясь за границы прямого следа, может увеличить степень подобия отражающего объекта отражаемому лишь в том смысле, что полоса вторичной деформации вокруг следа окажется подобной соответствующей

полосе вокруг активной части отражаемого объекта субстанциальными или структурными статическими характеристиками. Иными словами, вторичная деформация как проявление атиципации будет в этом случае такой, какой она могла бы быть, если бы просто увеличилась активная часть отражаемого объекта, например, если бы увеличилась поверхность контактирования объектов. Следовательно, полная, т.е. прямая и косвенная, деформация при статической, пространственной антиципации восполняет, делает богаче отраженную картину особенностей отражаемого объекта, проявляет те свойства, которые, в текущий момент времени, хотя и присущи отражаемому объекту. Но не были запечатлены на прямом следе, т.е. в результате первичной деформации.

Несколько иную роль играет антиципация в тех случаях, когда отражаемый объект, за время, сравнимое с временем процесса атиципации, успевает изменить свои свойства и в этом смысле является динамическим.

В той мере, в какой новые состояния отражаемого объекта обусловлены сущностными характеристиками его компонентов, субстанциальная близость отражающего объекта отражаемому становится фактором перехода первичного следа, поскольку он отразил в себе некоторые особенности состояния активной части отражаемого объекта, в новое состояние, во вторичный след, в той или иной степени соответствующий уже состоянию, в которое еще только предстоит перейти активной части отражаемого объекта. А так как подобие субстанции отражающего объекта субстанции отражаемого не полное, то среди антиципаций рассматриваемой разновидности могут быть и такие, при которых для перехода прямого следа в новое состояние, т.е. в косвенный след, требуется меньшее время, чем для перехода активной части отражаемого объекта в соответствующее новое состояние. Иными словами, динамическое (временное) предвосхищение, временная антиципация содержит в себе зародыши того процесса, который в его наиболее развитой форме именуется прогнозированием, хотя у нас пока

нет и речи ни о каких познающих в предсказывающих субъектах, а рассматриваются универсальные (хотя и более тонкие, чем просто механические) свойства физико-технических объектов.

При пространственной антиципации можно говорить также о том, что результатом отражения является увеличение степени подобия между деформирующим предметом и результатом вторичной деформации, при временной антиципации – степени подобия между деформирующим процессом и процессом вторичной деформации. И, наконец, можно разбить варианты антиципации на две разновидности еще по одному признаку, различая внешнюю и внутреннюю антиципацию.

В случае пространственной антиципации различие по признаку «внутренние – внешние» выражается в том, что при внутренней пространственной антиципации косвенный след получается из прямого благодаря тому, что граница прямого следа продвигается вглубь ярусов, так что степень подобия отражающего объекта отражаемому увеличивается за счет увеличения совпадения характеристик деформации с характеристиками отражаемого объекта в направлении все большей детализации, тогда как при внешней пространственной антиципации границы деформации увеличиваются по площади, так что детальность соответствия результирующей деформации свойствам отражаемого объекта не растет, зато увеличивается число фрагментов отражаемого объекта, которые соответствуют антиципативному следу.

Такова же причина отличия внутренних временных видов антиципации от внешних временных: в одном случае процесс детализируется, но остается в том же интервале времени, в другом – детальность остается неизменной, но интервал отраженного процесса расширяется.

Необходимо еще отметить, что требование полного тождества субстанции отражающего и отражаемого объекта отнюдь не обязательно. Необходимо лишь, чтобы наборы валентностей компонентов

взаимодействующих систем и законы их взаимного перехода в класс экстенций, интенций и потенций были на определенном числе ярусов в достаточной мере подобными. Тогда, каким бы способом отражаемый, активный объект ни навязывал некоторые из характеристик своей экстенциальной структуры отражающему надобъекту, после возникновения прямого следа в отражающем объекте могут начаться процессы дальнейшего уподобления его свойств свойствам отражаемого, и, следовательно, процессы антиципации этих свойств. Ограниченность числа ярусов подобия субстанций скажется лишь на глубине возможной детальности отражения.

Необязательность тождества субстанции отражающего и отражаемого объекта имеет принципиальное значение для ТО , ибо подтверждает возможность имитации самых различных процессов, в том числе и протекающих на неорганических субстратах технических устройств.

Введем в заключение этого раздела новые терминологические уточнения. Поскольку нам все чаще приходится упоминать не только отдельно термин «прямой след», имея в виду первичную деформацию, и термин «косвенный «косвенный след» для называния вторичной деформации, но и различать результаты спусковых и антиципативных вторичных деформаций, то косвенный след спускового воздействия будем называть последствием, а суммарный результат прямой и антиципативной деформации – образом. Ту часть отражаемого объекта, характеристикам которой уподоблен образ, назовем праобразом.

Следует отметить роль праобраза в процессе отражения, приводящего к возникновению следа.

Образ, при использовании такой терминологии, оказывается состоящим из двух компонентов: прямого и косвенного антиципативного следа. Антиципативную составляющую образа будем называть прообьразом, подчеркивая выбором приставки «про-« «предвосхитительный» оттенок ее

значения, ярко проявляющийся в русских словах «провозвестник», «провидец» или в греческих словах типа «прогноз», «профилактика».

В случае необходимости можно говорить о праобразе прямого следа в отличие от праобраза косвенного.

Сам процесс отражения, если результатом является образ, можно называть отображением. Следовательно, в системе наших терминов отображение является и одним из видов отражения.

Выше рассмотрены виды антиципаций, исходя из самого общего случая отражения, при котором образ возникает в силу природной субстанциальной близости отражающего и отражаемого объекта.

Теперь перейдем к важнейшим специализированным видам отображений, причем убедимся, что, кроме этой специализированности, они ничем больше не отличаются от универсальных, т.е. также распадаются на пространственные, временные, внутренние, внешние и т.д.

Специализация этих видов отображений заключается в том, что по мере функционирования объекта в роли отражающего его отображательные способности возрастают по быстродействию и чувствительности, но сужаются по многообразию допустимых праобразов. Основой специализации служит возможность существования таких деформаций, которые стоят на грани упругих и неупругих (спусковых и неспусковых), и тем самым в них своеобразно сочетаются свойства однократности и многократности отображения, свойства независимости внутренних деформаций отражающего объекта с их обусловленностью характеристиками отражаемого.

В том, что в адаптивных системах возможны и такие, промежуточные виды деформации, нетрудно убедиться.

Действительно, если отражаемый объект оказал воздействие на отражающий, и время воздействия было таким, что глубинная адаптация компонентов отражающего объекта началась, но не была доведена до уровня,

достаточного для того, чтобы после окончания воздействия экстенциальный прямой след на верхних уровнях остался неизменным, то, вроде бы, мы имеем дело с упругой деформацией. Но если глубинная адаптация к недавним следовым экстенциям еще не до конца исчезла, т.е. если глубинные компоненты еще не адаптировались к факту исчезновения, а отражающий объект снова был подвергнут со стороны активного объекта тем же самым воздействиям, то благодаря глубинной остаточной адаптированности отражающий объект окажется в большей мере, чем при первом воздействии, предрасположенным к антиципации, так как теперь для ее возникновения потребуется либо меньшая интенсивность воздействия, либо меньшая величина праобраза следа при той же величине или глубине образа. И эта повышенная способность к отображению будет от раза к разу, до некоторого предела, усиливаться, но, естественно лишь для одного и того же или достаточно подобных праобразов.

Этот факт можно истолковать как формирование не только экстенциального, но и интенциального следа в актах взаимодействия с праобразом. Если после определенного прямого воздействия эти интенции приведут к антиципации и возникновению образа, то на это потратится некоторая внутренняя энергия и субстанция отражающего объекта. Следовательно, в зависимости от того, превращается этот образ в остаточную информацию, либо, благодаря притоку энергии и утраченной субстанции, отражающий объект сможет восстановить свое исходное состояние, такая антиципация будет однократной или многократной.

Уточним ряд принципиально важных вновь введенных системологических понятий для использования их в теории и практике технического обслуживания (ТО). При ТО сложных объектов или систем процесс оценки их состояния связан с контролем внешней и внутренней структуру связей между элементами объекта или компонентами системы под влиянием внешних воздействий. Утрата или нарушение тех или иных связей

объекта или системы при изменении внешних воздействий позволяет сделать заключение (высказывание) или оценку его или ее состояния на базе истинностных таблиц сложных высказываний, а также для импликации и эквиваленции, в частности истинностного значения сложного заключения (высказывания) о состоянии объекта или системы может быть вычислено, используя истинностное значение простых высказываний (заключений), вводя соответствующую логическую связку.

Решение задачи оценки состояния объекта или системы ТО осуществляется с общих позиций в рамках целеустремленных систем, на базе которых достигается некоторый результат, являющийся оценкой их состояния. Организация таких систем должна быть адаптивной и продуцировать взаимодействия для достижения общей цели – оценки состояния объектов ТО.

Понятия продуцирования широко используются как в чистых, так и прикладных физико-технических науках, а также в науке о поведении. Например, характеристики включения бортового генератора при выполнении определенных условий изменения хотя бы одного свойства генератора, системы управления им (системы), или связи между ними в течение периода времени определенной продолжительности есть то или иное событие. Действие специалиста или системы, определяющей параметры, являются потенциальным продуцентом другого события, которое активно и формирует реакцию как системы, так и специалиста. Продукт действия специалиста или системы определяют результат.

Для реализации этой цепи, т.е. получения результата, как оценки состояния объекта или системы ТО создается функциональная система. При ТО это информационная система, включающая специалиста и инструментальные средства, сопродуцирующие результат действий по оценке состояния обслуживаемых объектов. Эта система может сопродуцировать:

– функциональные результаты одного типа структурно различными способами в структурно одинаковом окружении;

– функционально различные результаты в одинаковом окружении или в структурно различных окружениях.

Таким образом, целеустремленная система ТО может менять свои задачи при постоянных окружающих условиях: она выбирает и задачи и средства их решения. Целеустремленная система ТО воздушных судов различных типов является надсистемой и включает сотрудничающие целеустремленные системы.

Как правило, части различных целеустремленных систем могут служить инструментами всей системы ТО.

Рассмотренная выше картина получения результата является иллюстрацией отражения существенных сторон оценки состояний сложных объектов под влиянием организационных воздействий, реализуемых в надсистеме ТО, включающих целеустремленные системы типа «автоматизированные системы контроля – объект контроля» (АСК –ОК) для отдельных объектов и систем бортового комплекса оборудования ВС.

Объект контроля или система ВС как источник информации для оценки их состояний состоит из конкретной конфигурации, включающей внешние связи, воспринимаемой специалистов и формализуемой посредством правила идентификации, которая интерпретируется как реальное отображение I. Все множество отображений ОК для ВС будем обозначать T.

В процессе оценки состоянии ОК будем различать в отличие от идеальной деформированное (измененное) состояние, которое является либо следствием его взаимодействия с окружающей средой, либо изменений, полученных с помощью ОСК целенаправленной системы. Деформированное изображение, связанное с процессом отражения, будем называть отображением или образом контролируемого ОК, а понятие следа – реакцией на воздействие. При этом всякое отклонение от идеального отображения

будем связывать с деформацией объекта или системы (деформированное изображение). Механизм деформации (воздействие ОК), в процессе отображения, приводящий к возникновению реакции, назовем праобразом. Программу деформирования образа под действие АСК соответственно – прообразом (антиципативная составляющая образа).

Систематический подход к изучению целеустремленных систем вообще и АСК, в частности, позволяет рассмотреть систему в целом как состоящую из двух компонент: интепретатора воздействия, т.е. ОК, реализующего функцию отображения и устанавливающего соответствие между воздействием и реакцией на него, и интепретатором (толкователем, оценивателем) реакцией ОК, формирующим взаимное условное заключение (высказывание), образованном из двух простых заключений с помощью логического союза (связки) «тогда и только тогда».

Еще раз отметим в новой формулировке очень важный факт, упоминавшийся выше, что в процессе отображения интерпретатор и интерпретант влияют друг на друга, взаимно деформируют друг друга так, что реакции после взаимодействия остаются в обеих системах надсистемы.

В дальнейшем нас будут интересовать в первую очередь интенциальные следы, обеспечивающие антиципацию свойств отражаемого объекта многократно. В этом случае прообраз будет существовать в двух формах: в форме интенций до акта прямого воздействия отражающего объекта с активной частью отражаемого и в форме экстенций в течение некоторого времени после возникновения прямого следа этой части. По отношению к прямому следу такой прообраз напоминает вторичную деформацию от спускового воздействия, так как развитие вторичной части образа идет за счет внутренней энергии отражающего объекта. Но эта вторичная часть увеличивает степень подобия отражающего объекта отражаемому, и в этом отношении интенциальная антиципация ближе к универсальной.

Однако интенциальные следы в определенном смысле неустойчивы. Поскольку в промежутках между взаимодействиями отражающего объекта с отражаемым прямой экстенциальный след исчезает и начинается процесс реадаптации глубинных элементов.

Будем связывать факт превращения интенциальной деформации, «дремлющей» в отражающем объекте, в экстенциальную (напрмер, под воздействием соответствующей внешней причины) с понятием возбуждения этой предшествующей деформации, а обратный переход возбужденной экстенциальной деформации в скрытую, интенциальную – с затуханием результата рассмотренного «полуупругого» косвенного отражения.

Рассмотрим теперь несколько подробнее способы формирования интенциального следа сначала при пространственной антиципации, потом – при временной.

Если прямому внешнему воздействию была подвергнута небольшая группа компонентов отражающего объекта, то благодаря остаточным интенциальным деформациям во всей этой совокупности групп под наблюдением возникновения прямых следов сформируется целостная совокупная интенциальная деформация, целостный интенциальный след, состоящий из косвенных деформаций, как из своих компонентов.

Следовательно, общим для всех этих разновидностей предвосхищения (антиципации( является то, что после многократного сложного, но однотипного прямого воздействия активного объекта на отражающий в отражающем объекте формируется интенциальный косвенный след.

Благодаря ему под влиянием уже не полного, а лишь частичного типового прямого воздействия отражающий объект получает такую экстенциальную косвенную деформацию, какая при начальных прямых воздействиях была лишь при условии, что активный объект оказывал на отражающий не частичное, а полное прямое типовое воздействие.

Такая антиципация основана на использовании не только результатов предшествующей адаптации материала как субстрата субстанции, но и как результата перестройки самой субстанции объекта под влиянием типовых воздействий среды, что по внешней аналогии напоминает индивидное «обучение» объекта «опознавать» целое по небольшой части характеристик целого, если это целое уже достаточно много раз встречалось и поэтому хорошо «знакомо» отражающему объекту.

Следует еще заметить, что процессы «полной» косвенной деформации отражающего объекта под влиянием прямого частичного типового воздействия со стороны активного объекта в кибернетической литературе широко обсуждаются после работ П.К. Анохина, назвавшего этот тип воздействия объектов «опережающим отражением действительности».

Будем эту разновидность «обучающейся» антиципации, вслед за П.К. Анохиным, также называть опережающим отражением. Однако заметим, что рассмотренный нами процесс антиципации включает не только предвосхищение предстоящих прямых воздействий после частичного, но предвосхищение глубинных перестроек отражающего объекта, которые в нем должны были бы произойти, если бы активный объект смог подействовать на пассивный той частью, которая названа праобразом вторичного следа.

Итак, отметим, что при формировании интенциального следа, как «дремлющего», затухающего, но не исчезающего до момента очередного прямого воздействия праобраза на отражающий объект и содействующего возбуждению его образа, снова имеем дело с отображением, с антиципацией. Но это – специфическая антиципация, требующая предварительного «обучения» отражающего объекта, чтобы он на основе опыта не только материала, но и своего, индивидного, мог развить в себе предрасположенность к возбуждению образа именно данного, а не иного праобраза. Такой вид отображения обеспечивает значительно большую

чувствительность и большее быстродействие, чем универсальный, но за счет утери универсальности; возбуждение образа благодаря наличию интенциального следа хотя и приводит к пространственной антиципации, но она весьма слабо противопоставлена временной антиципации.

Чтобы подчеркнуть наличие общих моментов, но не тождественность опережающего отражения с результатом спускового воздействия, будем называть прямой след, достаточный для «включения» процесса возбуждения интенциального прообраза, запускающим следом. После «запуска» начинается, хотя и структурированный, сложный, но автономный процесс предвосхищающей деформации в отражающем объекте.

При опережающем отражении (в нашем более широком понимании) границы между пространственной и временной антиципацией недостаточно четки, однако в рассмотренном примере отношения между пространственными и временными характеристиками процесса отражения вполне определенны: интенциальный след, являясь пространственной деформацией, содействовал возбуждению образа, характеризующего целостное взаимодействие отражающего объекта с праобразом, который сам по себе может быть и предметом.

Теперь рассмотрим случай, где праобраз является процессом, так что динамические аспекты отражения играют преобладающую роль.

Праобраз, с которым взаимодействует отражающий объект, может быть динамическим в том смысле, что взаимосвязи между его компонентами представляют собой не установившиеся, равномерные потоки, а изменяются по определенному (но тоже установившемуся) закону. Например, окрестностные компоненты праобраза изменяют с определенной периодичностью свои состояния так, что группа интенций превращается в экстенции, а группа экстенций – в интенции и потом наоборот. Следовательно, если даже пространственное расположение компонентов праобраза остается неизменным, фактически происходит периодическое

изменение окрестностных условий, так как изменяются валентности компонентов-партнеров в праобразе.

Но поскольку в нашем понимании всякое взаимодействие объектов субстанциально, то рассмотренный динамический праобраз может оказать динамическое же воздействие на другой, отражающий объект, причем даже не обязательно непосредственно потоками субстанции взаимодействия между своими компонентам, а лишь косвенно, «утечками» и периодическими «брызгами» от этих потоков.

Совершенно ясно, что рассматриваемые периодические воздействия отражаемого объекта на отражающий могут вызвать в определенных случаях неупругие, остаточные деформации. В этом смысле динамичность внешнего воздействия просто сведется к многократности воздействия, и ничего специфически динамического в результатах воздействия не будет.

Что же касается упругих воздействий, то тут факт их динамичности приводит к возможности двух очевидных разновидностей результатов.

Во-первых, это упругость, уже рассмотренная для статического случая: в те моменты времени, пока прямое воздействие есть состояние отражающего объекта изменяется. Но если за время от одного «прилива» периодического прямого воздействия до другого успевает происходить реадаптация глубинных элементов отражающего объекта, то после прекращения этого периодического воздействия отражаемого объекта на отражающий состояние отражающего объекта полностью восстанавливается и отражающий объект не накапливает никакого индивидного «опыта».

Во-вторых, поскольку речь идет об определенном законе изменения силы прямого воздействия, например, о периодическом, то нужно учесть, что и объект, который испытывает воздействие, может оказаться динамическим и, следовательно, валентности связи между его компонентами могут также подчиняться определенному закону изменения во времени. И если эти

динамические законы изменения связи между компонентами у обоих объектов близки или одинаковы, то могут возникнуть резонансные явления.

Например, динамические интенции отражающего объекта под влиянием резонансных внешних воздействий могут превратиться в динамические экстенции. При этом важно подчеркнуть, что в случае резонансного воздействия сравнительно слабые интенсивности потоков прямой взаимосвязи между объектами могут привести к заметным косвенным влияниям на динамическое состояние отражающего объекта.

И, наконец, ясно, что адаптация глубинных элементов отражающего объекта может протекать в направлении изменения их динамических характеристик, следовательно, отражающий объект, испытывающий достаточно долго динамическое внешнее прямое воздействие отражаемого, может изменить свои свойства на глубинных уровнях, причем таким образом, что окажется интенциально предрасположенным к динамической реакции на воздействия с определенным динамическим законом изменения, т.е. станет более легко резонирующим на прямые воздействия, протекающие по этому закону. Эта «легкость» может выражаться не только в том, что интенсивность воздействия на отражающий объект уже адаптированный интенциально к данному закону изменения прямого воздействия, будет требоваться меньшая.

Не менее важным проявлением динамической адаптированности является способность отражающего объекта по начальному характеру изменения воздействия возбуждаться и изменять свои динамические экстенциальные характеристики так, что они начинают соответствовать продолжению этого закона изменения в отражаемом объекте, если даже прямое динамическое воздействие отражаемого объекта прервалось. Иными словами, адаптивный динамический объект по части динамической структуры прямого воздействия праобраза интенциально предрасположен косвенно выявлять продолжение этой структуры, т.е. возбуждать

продолжение закона изменения праобраза, причем в некоторых случаях в течение более короткого интервала времени, чем соответствующий ход процесса в праобразе, и тем самым предвосхищать в образе этот процесс.

На предвосхищение можно наблюдать и в случае если скорость развития процесса в образе не выше, чем в праобразе. Такое предвосхищение бывает тогда, когда начавшееся было прямое взаимодействие отражающего объекта с отражаемым оканчивается до момента окончания процесса в праобразе, и поэтому продолжение хода этого процесса в образе предвосхищает то, что было бы в нем, если бы взаимодействие с отражаемым объектом не прервалось.

Резонансное предвосхищение замечательно еще одной особенностью.

Если сформировался интенциальный образ какого-либо воздействия в определенном месте отражающего объекта, то что будет с этим образом, если отражаемый объект начал аналогичное прямое воздействие на другой участок отражаемого?

Естественно, что на этом новом месте начнет формироваться прямой след активной части отражаемого объекта. Ясно также, что при таком универсальном, одноразовом воздействии на этот новый участков в нем едва ли сможет формироваться интенциальный след, и поэтому степень антиципации косвенного следа вокруг прямого будет скорее всего незначительной.

На обратим внимание на то обстоятельство, что формирование прямого следа активной частью отражаемого объекта протекает по тому же закону, под влиянием которого сложился интенциальный образ в другой части отражающего объекта. Ведь это равносильно тому, что структуризация следа, переключение потока взаимодействия компонентов отражающего объекта на месте следа, само является внешним (по отношению к интенциальному следу в другом участке отражающего объекта) процессом, параметры которого весьма близки к параметрам процесса, сформировавшего интенциальный

след. Отсюда вытекает, что интенциальный след может начать резонансное, косвенное возбуждение потому, что в другом участке отражающего объекта протекает обычная, прямая, первичная деформация, отражающая характеристики этой же активной части отражаемого объекта, которая ранее привела к формированию интенциального следа.

Таким образом, повторному возбуждению, закреплению и поддержанию интенциального следа может содействовать многократное возникновение уникальных прямых следов в различных участках тела отражающего объекта, так что возможна «концентрация опыта» в одном месте, хотя навязывается он на различные участки отражающего объекта.

По мере формирования интенциального следа га основе резонансных взаимодействий с уникальными прямыми следами величина прямых следов для возбуждения интенциального может начать требоваться все меньшая. Таким образом и при резонансном возбуждении степень антиципации опережения также может возрастать.

Следовательно, и во всех новых рассмотренных случаях мы имеем дело с опережающим отражением в определенном ранее смысле, но в той его разновидности, которая входит в число временных антиципаций, предвосхищающих не предмет, а ход процесса, отражаемого образом. И снова видим, что при опережающем отражении, благодаря использованию «опыта», накапливаемого субстанцией отражающего объекта уже в процессе функционирования и многократного взаимодействия с данным динамическим праобразом, степень антиципации, ее скорость и чувствительность к воздействию праобраза может быть существенно выше, чем при универсальной антиципации, основанной на той доле близости характеристик субстанции отражающего и отражаемого объекта, которая унаследована субстанцией лишь от материала и не заключает в себе «опыта» типовых предшествующих взаимодействий самого того объекта, субстанция которого воплощена в этот материал.

Отметим в заключение, что все виды рассмотренной антиципации, в том числе и опережающего отражения, в наших схемах должны пониматься только как нецеленаправленные в том смысле, что предвосхищение свойств отражаемого объекта в отражающем остается хотя и опережающей, но просто деформацией, ибо само опережение не ведет ни к каким дальнейшим последствиям ни во внутренней перестройке отражающего объекта, ни во внешней перестроке взаимодействий между активным и отражаемым объектом, какова бы ни была степень предвосхищения.

В деформации, в том числе и антиципативной, хотя и проявляется «опыт» , предыстория формирования материала или даже субстанции системы, но проявившись, он остается никак не реализованным, хотя и обеспечивает принципиальную возможность того или иного вида реализации.

## 1.5. Обобщенная структурно-логическая информационная модель взаимодействия

Процесс оценки технического состояния некоторых объектов или систем БКО ВС есть процесс управления ими в надсистеме «АСК–ОК», выполняемый по определенной программе в целеустремленной системе – системы оценки (ЦК) действий в рамках системы оценки, представленной целью управления объектом ТО на рисунке 1.1, и которая может быть трансформирована в цепь управления в общем виде (рисунок 1.2)

Рисунок 1.1 – Цепь управления объектом ТО

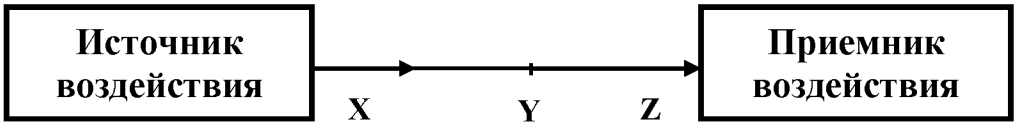



Рисунок 1.2 – Цепь управления в общем виде

Равносильно организации соответствующего оптимального процесса управления, результатом которого является определение технического состояния.

При этом при ТО имеется два вида воздействия:

в первом случае источник воздействия формирует управляющие воздействия, реализуемые либо специалистом либо техническим устройством по определенной программе в ЦУС (автоматизированный контроль);

в другом случае, при оценке ТО подача управляющих воздействий не производится (осмотр).

Результаты оценки технического состояния отражаются в виде определенных заключений.

Понятие отражения как результат оценки состояния объекта или системы и его видов представляет для систем ТО большой интерес не только само по себе, но и в связи с тем, что оно тесно переплетено с понятием информации, которая, в свою очередь, является непременным компонентом процессов управления. Поэтому информация, определяемая Д. Урсулом как «отраженное многообразие» или возводимая Б. С. Украинцевым в ранг одного из конкретных проявлений категории причины, причем такого, которое «можно было бы охарактеризовать как величину управляющую», не может, естественно, остаться вне поля нашего зрения, особенно если учесть, что нас интересуют, во-первых, семиотические, а значит, и информационные аспекты и, во-вторых, именно система ТО как прикладного аспекта кибернетики.

Кроме потребности рассмотрения отношений между понятиями и отражения, управления и информации, у нас есть и возможности сделать это, причем без обычного перечисления многих точек зрения. Вытекают наши возможности из уточнения понятия отражения, опирающегося на уточнение понятий системы и адаптации.

К понятиям управления и информации, которые будут подведены под категорию отражения как формы его протекания, перейдем не непосредственно, а через промежуточное понятие направляющего воздействия.

Обратим еще раз внимание на тот факт, что любое отражение включает в себя по крайней мере две фазы развития, и следовательно, два вида результата: первичную деформацию, навязанную отражаемым объектом, и вторичную, развивающуюся под влиянием возникновения первичной, но протекающую уже без вмешательства отражаемого объекта. При простейшей, упругой или неупругой деформации доля вторичной фазы может оказаться пренебрежимо малой по сравнению с полной деформацией, но именно вторичная деформация является основой всех остальных и, в частности, может протекать как универсальная антиципация, опирающаяся на опыт материала. Кроме того, поскольку первичный след всегда более или менее уподобляется свойствам активной части отражаемого объекта, то он, тем самым, уподобляет и весь отражающий объект отражаемому, т.е. программе воздействий на него, а универсальная антиципация увеличивает это уподобление, если свойства отражаемого объекта отражены в опыте материала.

Если возникновение прямого следа высвобождает так или иначе накопленную деформирующую энергию отражающего объекта и оказывается в связи с этим спусковым или запускающим воздействием, то, как уже отмечалось, степень изменения состояния отражающего объекта по отношению к исходному состоянию в этом случае становится существенно

более высокой, но степень уподобления отражающего объекта отражаемому или вообще не возрастает (при пусковом воздействии), или возрастает очень сильно, но лишь при условии, что первичный (запускающий) след является началом воздействия уже много раз протекающего ранее и поэтому закрепленного как опыт отражающего объекта. Но во всех видах вторичной деформации ее характеристики не являются отражением актуальных, фактически наличных к моменту прямого воздействия характеристик отражаемого объекта, как это имеет место при формировании прямого следа, когда можно говорить о протекании №прямого причинения», в отличие от «косвенного причинения» при вторичной деформации.

Степень деформации отражающего объекта при прямом причинении, т.е. при прямом воздействии отражаемого объекта, определяется энергией и субстанцией, потраченной отражаемым, активным объектом. Вызванный этим воздействием переход отражающего объекта в новое состояние хотя и определяется областью его потенций, но является вынужденным, навязанным только извне, это – переход возможности в действительность без внутренней необходимости, без интенции к такому переходу, без предрасположенности к нему. Другими словами, это чисто пассивное подчинение.

Вторичная же деформация от косвенного причинения, после того, как первичная стала действительностью, возникает уже по внутренним причинам, под влиянием перехода интенций в экстенции, т.е. перехода не просто возможности, а уже назревшей необходимости в действительность. Если при этом первичная деформация относится к спусковой или запускающей, то энергия и субстанция, потраченные на результирующую деформацию отражающего объекта, уже существенно больше энергии и субстанции, потраченных отражаемым, активным объектом на первичную деформацию. Эта энергия и субстанция вторичной деформации черпается из внешних (по отношению к активному объекту) источников. Таким источником служат либо внутренние накопления самого отражающего

объекта, либо накопления, способные откуда-либо перетекать в отражающий объект. Следовательно, отражающий объект при спусковом или запускающем внешнем воздействии уже сам предрасположен к переходу в другое состояние, его не нужно навязывать, а достаточно оказать отражающему объекту небольшое воздействие, «подтолкнуть» его, дать начальное направление, а дальше процесс перехода в такое состояние развивается самостоятельно, не нуждаясь ни в энергии, ни в субстанции отражаемого объекта, ни вообще в его наличии.

Таких предрасположенностей в простейшем случае у отражаемого объекта только две: исходное и возбужденное состояние, в общем же случае этих состояний может быть несколько. Но независимо от числа таких состояний отражающий объект предрасположен ко всем из них; лишь они входят в узкую подобласть его интенций из широкой области потенций, они представляют перечень вызревших необходимостей, и поэтому спусковое или запускающее воздействие превращает уже не просто возможность, а одну из необходимостей отражающего объекта в действительность. Назовем в связи с этим спусковые и запускающие воздействия направляющими.

В кибернетике, в теории управления и в теории информации одним из важнейших понятий является понятие «разнообразия». Но до тех пор, пока под разнообразием понимают вообще всякую неоднородность или любое из возможных состояний рассматриваемых объектов, понятие управления и понятие информации остается настолько общим и неопределенным, что законно ставится под сомнение их научная продуктивность. В этом отношении предлагаемая схема более конкретна. Выше еще не анализировались понятия управления и информации и вообще рассматриваются пока лишь генетические предпосылки соответствующих видов взаимодействия в самоуправляемых системах, проявляющиеся в неживой природе лишь в форме направляющих воздействий и их следствий, но используемые нами представления о потенциях, интенциях и экстенциях,

соотносимых с представлениями о возможных, необходимых и действительных связях объектов, позволяют уточнить и кибернетическое понятие разнообразия. Разнообразие тоже должно быть разделено на три разновидности: потенциальное, интенциальное и экстенциальное, причем при рассмотрении влияния направленных воздействий на отражающий объект речь идет лишь о многообразии интенциальных, необходимых (а не вообще потенциальных, возможных) состояний и о превращении в экстенциальное состояние (в действительность) лишь одного из интенциальных.

Примером использования потенциального многообразия для превращения одного из потенциальных состояний в экстенцию, в действительность, может служить появление прямого следа в отражающем объекте, т.е. навязывание свойств активной части отражающего объекта отражаемому, и в этом случае нет оснований говорить о направляющих воздействиях.

Естественно, что понятие направляющего воздействия, поскольку оно само не связано ни с каким требованиями к конечному результату воздействия не может отождествляться с понятием «управляющего воздействия». Но в то же время ясно, что без использования направляющих воздействий едва ли можно осуществить даже самые простые акты управления.

Как отмечалось. при косвенном причинении, возникающем под влиянием прямых направляющих воздействий отражаемого объекта, большая часть деформаций, которые приводят к появлению образа в отражающем объекте, протекает без непосредственного участия отражаемого объекта как праобраза этого образа, что существенно связано со вторым видом воздействия, сформулированным как осмотр. Данное обстоятельство позволяет увеличивать степень неучастия отражаемого объекта в процессе отражения.

Так как для формирования прямого следа (как спускового или запускающего воздействия) отражающему объекту нужно навязывать свойства лишь активной части отражаемого объекта, то это можно сделать и через объект-посредник, в частности АСК, если навязать этому посреднику сначала свойства активной части, чтобы потом он как носитель этих отчужденных свойств отражаемого объекта выступил в роли функционального заместителя активной части отражаемого объекта, т.е. навязал, в конечном счете, отчужденные свойства отражающему объекту. А поскольку доля отчужденных свойств отражаемого объекта по отношению к полному составу свойств, отражаемых в образе, невелика, то и объект-посредник, переносящий эти свойства от активной части отражаемого объекта к отражаемому объекту, может иметь существенно меньшее потенциальное многообразие, чем отражаемый объект и, тем не менее, в актах косвенного отражения быть полностью эквивалентными отражаемому (пока, конечно, фактические свойства отражаемого объекта не вступят в противоречие со свойствами, запечатленными в интенциальном следе отражающего объекта).

Иными словами., возможно протекание косвенного отражения при условии, если в качестве направляющего воздействия выступают отчужденные свойства активной части отражаемого объекта, подводимые к отражающему объекту с помощью объекта-посредника. Посредник может быть существенно более простым (по потенциальному многообразию, запасу энергии и т.п.) в сравнении с отражаемым объектом, так как формирует лишь часть праобраза образа этого объекта.

Такой опосредованный процесс направляющего воздействия на основе отчужденных свойств активной части отражаемого объекта назовем информированием. Естественно, что и в этом случае имеем дело только с физической предпосылкой того явления, которое связано с понятием информации, а не с самой информацией, ибо информирование – это лишь

специфическая форма направляющего воздействия, которое, как уже отмечалось, также является лишь физической предпосылкой осуществления процесса управления, но не самим управлением. Но, тем не менее, введя понятие информирования. наряду с понятиями отражения и направляющего воздействия, мы получаем представление о внутренних связях между всеми этими понятиями и подготавливаем базу для установления связи между обшефилософским понятием отражения и семиотико-кибернетическими понятиями многообразия, информации и управления. Однако прежде чем пытаться это сделать, обратим внимание на некоторые важные для дальнейшего особенности условий протекания направляющих воздействий и, следовательно, условий протекания информирования.

Поскольку направляющее воздействие в акте косвенного отражения требует навязывания свойств активной части отражаемого объекта телу отражающего объекта, то ясно, что это воздействие возможно лишь тогда, когда отражающий объект по отношению к отражаемому имеет не какие угодно, а вполне определенные, ограниченные субстанциальные характеристики, если даже ширина этих границ довольно велика. Иначе и быть не может, поскольку, в нашем понимании, любое воздействие в конечном счете является телесным и, следовательно, требует хотя бы минимального средства по крайней мере на уровне субстанции потоков связи.

Лишь при наличии такой субстанциальной согласованности между характеристиками направляющего воздействия и отражающего объекта возможно навязывание свойств отражаемого объекта отражающему.

Эти свойства могут быть, например, граничными, т.е. представлять особенности структуры активной части отражаемого объекта, и тогда навязывание этих свойств отражающему объекту должно выражаться в структуризации его субстанции в соответствии с особенностями структуры активной части.

Все сказанное сохраняет силу и для информирования, следовательно, и объект-посредник, чтобы выполнить свою функцию, не может иметь какую угодно субстанцию, а отчуждаемое от отражаемого объекта и навязываемое отражающему объекту свойство может быть как структурным (граничным), так и субстанциальным (качественным).

Не говоря пока об информации, мы можем теперь вполне согласиться с тем, что в процессе формирования имеем дело действительно с «отраженным многообразием», однако в свете ранее сказанного такое понимание приобретает более конкретный смысл, поскольку у нас появились основания говорить о многообразии самих многообразий и о способах их сопоставления.

Во-первых, как мы только что видели, субстратом разнообразия могут быть не только структурные, но и субстанциальные вариации свойств реальных объектов и явлений.

Во-вторых, как будет показано ниже, многообразия, учет которых необходим в актах информирования, могут сопоставляться на основе особенностей их локализации, и лишь специфическое соотношение между многообразиями различных видов обеспечивает протекание информирования. Так, следует особо выделить многообразие вариантов действительных, экстенциальных состояний активной части отражаемого объекта; лишь они должны учитываться как прямая причина многообразия отчуждаемых свойств отражаемого объекта, и направлений развития интенций отражающего объекта по некоторому пути перехода (из всего многообразия необходимых путей) в возбужденное состояние. Эти многообразия по своей величине (в простейших случаях равной одному биту) не должны существенно различаться и в отражаемом, и в отражающем объекте, и в объекте-посреднике, и собственно лишь об этих разнообразиях идет речь, когда говорят об измерении количества информации в шенноновском смысле.

При этом ясно, что хотя рассматриваемое многообразие в своем истоке связано с особенностями активной части отражаемого объекта, но для процесса информирования значимо оно лишь постольку, поскольку ему соответствует многообразие интенциальных состояний отражающего объекта.

Как бы ни изменялись состояния активной части отражаемого объекта, количество вариантов возбужденных образов в отражающем объекте не может оказаться большим, чем это определено опытом взаимодействия бортовых объектов системы ВС.

Этот вид многообразия, проявляющегося в разнообразии отчуждаемых свойств отражаемого объекта, назовем селектирующим, ибо варьирование в границах этого многообразия определяет в конечном счете то, какой из интенциальных образов будет «выбран», т.е. фактически возбудится в отражающем объекте.

Теперь обратим внимание на то, что каждый такой образ также представляет собой вполне определенное многообразие действительных, наличных свойств, отражающих многообразие свойств праобраза, т.е. свойств основной (а не одной лишь активной) части отражаемого объекта. Это многообразие, хотя оно тоже – отраженное, может не иметь ничего общего с многообразием отчужденных свойств отражаемого объекта ни по свойствам, ни по величине. Для оценки этого второго вида многообразия необходимо учесть предысторию взаимодействий между отражающим и отражаемым объектом, опыт их взаимодействия, наблюдение же только за объектом-посредником в актах информирования ничего не скажет нам об этом опыте и, следовательно, о втором виде многообразия. Каждое такое многообразие можно назвать селектированным.

И, наконец, можно выделить по крайней мере еще один важный вид многообразия, мощность которого (в теоретико-множественном смысле), по-видимому, наименее ограничена, потому что лимитируется лишь временем

протекания информации, в связи с чем У.Эшби формулирует даже специальную теорему: «действуя достаточно долго, любой преобразователь может передать любое количество многообразия», хотя и не связывает это с необходимостью классификации видов многообразия.

Природу этого вида многообразия рассмотрим сначала на простейшем примере, когда направляющее воздействие сводится к спусковому и, следовательно, селектирующее и селектируемое многообразие равно лишь одному биту: возбуждено – не возбуждено, так что последствия спускового воздействия не сопоставимы со свойствами активного объекта и не отражают его актуальных характеристик. Но представим, что такие воздействия многообразны и осуществляются с переменным периодом или с переменной средней частотой, а отражающий объект при этом успевает после каждой спусковой реакции восстановить свое состояние и, тем самым, способность реагировать на следующее спусковое воздействие. В этом случае ряд характеристик вторичной деформации, например усредненная интенсивность притока энергии на восстановление исходного состояния отражающего объекта, окажется пропорциональной средней интенсивности (например, усредненной частоте) воздействия отражаемого объекта на отражающий.

Поскольку эта усредненная частота является уже актуальной характеристикой отражаемого объекта, то несмотря на спусковой характер вторичной деформации она, как и первичная, оказывается способной воспринять, отразить свойства отражаемого объекта, причем степень возможных изменений свойств отражающего объекта оказывается в этом случае существенно большей, чем при отражении актуальных свойств отражаемого объекта только за счет первичной и одноразовой вторичной деформации. Следовательно, в этом случае можно говорить об отражении нового вида многообразия, складывающегося из всех вариантов последовательных во времени интервалов спусковых воздействий на отражающий объект, т.е. из комбинаций этих интервалов, если эти

комбинации действительно специфичны для состояний отражаемого объекта, т.е. являются его свойствами. Важно при этом и то, что такие комбинации легко могут отчуждаться от отражаемого объекта, переноситься к отражающему объекту с помощью объекта-посредника.

Назовем этот вид многообразия, отражаемого в процессе информирования, – комбинационным. Нетрудно видеть, что на отражении именно этого многообразия основаны механизмы модуляции и усиления в регулирующих звеньях автоматов и живых существ. Понятно, что комбинационное многообразие может быть отражено не только в случае спускового, но и запускающего воздействия на отражающий объект. Если при этом селектируемое многообразие представляет собой совокупность интенциальных образов, праобразами которых являются состояния отражаемого объекта, причем каждое из состояний имеет свою активную часть, то элементами комбинационного многообразия могут служить все возможные комбинации чередования этих состояний с разнообразными вариантами интервалов между переходами из одного состояния в другое, и каждый такой комбинационный элемент будет отражаться в форме закономерного чередования запусков соответствующих интенциальных образов отражающего объекта.

Ясно, что для отражения такого комбинационного многообразия в процессе информирования объект-посредник в качестве отчужденных свойств отражаемого объекта должен переносить только единицы селектирующего многообразия, т.е. свойств активных частей каждого из селектируемых состояний. Варьирование закона чередования единиц селектирующего многообразия позволяет при этом воспроизводить сложнейшие результирующие отраженные многообразия, состоящие из комбинаций единиц селектируемых многообразий, т.е. из комбинаций интенциальных образов.

Важно также отметить, что при отражении любых трех видов многообразия и их сочетаний путем информирования легко осуществляется задержка процесса отражения по отношению ко времени реального протекания отражаемого процесса.

# ГЛАВА 2. ТЕНЗОРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## 2.1 Методологические основы моделирования

Моделирование является одним из наиболее эффективных методов исследования. Оно заключается в построении и изучении специальных объектов (моделей), свойства которых подобны наиболее важным, с точки зрения исследователя, свойствам исследуемых объектов (оригиналов). В широком смысле моделирование представляет собой научную дисциплину, в которой изучаются методы построения и использования моделей для познания реального мира.

Всякая научная дисциплина, как правило, основывается на исходных понятиях и определениях, позволяющих однозначно понимать язык, применяемый для изложения этой дисциплины. Моделирование, как научная дисциплина, также содержит ряд специальных понятий, которые составляют начало методологических основ этой науки. (Концептуальная часть науки).

Философскую концепцию моделирования составляют теория отражения и теория познания, а формально-методическую основу моделирования составляют теория подобия, теория эксперимента, математическая статистика, математическая логика и научные дисциплины, изучающие те предметные области, которые подлежат исследованию методами моделирования.

В данном разделе рассмотрим основные положения науки о моделировании реально существующих объектов и объектов, подлежащих созданию в будущем. Моделирование этих объектов имеет общую философскую основу, но существенно отличается в части прикладных методов исследования.

Изучение методологических основ моделирования целесообразно начать с рассмотрения философских понятий теории отражения реальной

действительности в сознании некоторого субъекта. Это должно обеспечить нам однозначное понимание положений излагаемых далее прикладных теорий. Приведем определения наиболее существенных для моделирования философских понятий. Некоторыми из них мы уже пользовались без определения.

Предметная область - это мысленно ограниченная область реальной действительности или область идеальных представлений, подлежащая описанию (моделированию) и исследованию. Предметная область состоит из объектов, различаемых по каким-либо признакам (свойствам) и находящихся в определенных отношениях между собой, или взаимодействующих каким-либо образом.

В нашем представлении объект - это все что мы различаем как нечто целое, реально существующее, или возникающее в нашем сознании и обладающее свойствами, значения которых позволяют нам однозначно распознавать это нечто. Объект, на котором сосредоточивается внимание субъекта с целью исследования называется объектом исследования.

Объекты воспринимаются и различаются субъектами лишь постольку, поскольку они обладают характерными свойствами или способностями. «Свойство» и «способность» также являются весьма важными понятиями в рассуждениях человека.

Свойством называется характерная особенность объекта, которая может быть замечена и оценена субъектом, например, вес, цвет, длина, плотность и тому подобное. Для оценки исследуемого свойства объекта субъект устанавливает определенную меру называемую показателем свойства. Для каждого показателя определяется множество значений (уровней, или градаций меры свойства), которые присваиваются ему в результате оценивания свойства. Следовательно, свойство объекта является реальностью, а показатель - субъективной мерой этой реальности, если, конечно, речь идет о реальных объектах.

Показатели всеобщих свойств материальных объектов, таких как пространство и время называются основными показателями. Подавляющее большинство показателей других свойств выражаются через показатели этих основных свойств. Поэтому единицы измерения основных показателей служат основой для построения стандартной системы единиц измерения физических величин и называются основными единицами измерения.

Выражение показателя некоторого свойства через основные единицы измерения, принятые в определенной стандартной системе единиц (мер), называется размерностью данного показателя.

С точки зрения субъекта свойства делятся на внутренние (собственные) свойства объектов, показатели этих свойств называются параметрами, и внешние, представляющие собой свойства среды, связанные некоторыми отношениями с параметрами данного объекта. Показатели свойств внешней среды, влияющих на параметры исследуемого объекта, называются факторами.

Свойства объектов выявляются только при их взаимодействии или при сопоставлении объектов друг с другом. Сопоставление (комбинация) значений показателей, наблюдаемых свойств определенных объектов называется отношением. Говорят, что отношение истинно, если оно подтверждается практическим экспериментом, или логическим выводом. Отношение считается ложным, если оно опровергается практической проверкой или логическим выводом. Иначе отношение считается неопределенным. Понятия «истинно», «ложно», «неопределенно» являются значениями любого отношения, результатами субъективной его оценки.

Отношение называется функциональным (функцией F), если оно представляет собой однозначное отображение множества X значений показателя некоторого свойства в множество Y значений показателя того же, или иного свойства. Формально это записывают как $F:= X \rightarrow У$, или как $F(X)=Y$.

Взаимодействие объектов определяется по результатам изменения значений наблюдаемых свойств этих объектов. Поэтому каждому действию, или взаимодействию мы присваиваем определенный результат. Это может быть значение, или определенная комбинация значений, показателей свойств взаимодействующих объектов. Действия над значениями показателей свойств объектов, выполняемые по определенным правилам и приводящие к предполагаемому результату, называются операцией или процедурой.

Значения показателей свойств объектов обозначаются символами из некоторого заранее определенного множества A, называемого алфавитом.

Множество объектов, взаимосвязанных между собой определенными отношениями, и выполняющих определенную общую для них целевую функцию или имеющих общее предназначение, называется системой.

Система, состоящая из алфавита A, строго определенных множеств отношений (G), операций (Q) и предназначенная для символического описания объектов и систем определенного класса, называется формальной системой. Такие системы используются в качестве языков математического моделирования.

Способность, по нашему мнению, есть готовность объекта проявлять определенные свойства в определенных условиях. И наоборот, способность объекта вести себя определенным образом квалифицируется как его свойство. Например, забегая вперед, отметим, что одним из свойств сознания человека является способность применять ранее накопленные знания для решения возникающих логических проблем. Эта способность называется интеллектом.

Энергия является одним из свойств материи, в силу которого все материальные объекты совершают движение в пространстве и времени, находясь в энергетическом взаимодействии и пространственно-временном отношении.

Пространство и время также являются всеобщими свойствами материи. Многочисленные эксперименты подтверждают, что все материальные объекты существуют не иначе как в пространстве и во времени. Как известно, значения показателей пространства и времени входят в состав основных единиц измерения всех физических свойств объектов.

Так как все свойства объектов изменяются во времени, то любой набор значений показателей этих свойств относится к определенному значению показателя времени (к моменту времени). Это отношение называется состоянием объекта.

Значения показателей свойств меняются с течением времени. В результате этого происходит смена состояний объектов. Акт смены состояний объекта, отнесенный к определенному промежутку времени, называется событием, а последовательность взаимосвязанных событий, происходящих на некотором интервале времени, называется процессом.

Важным всеобщим свойством материи является способность материальных объектов сохранять вещественные и энергетические результаты (следы) взаимодействия материальных объектов. В философии эта способность называется отражением. Высшая форма отражения проявляется в биологических системах, как способность чувственного восприятия окружающей среды, сохранения результатов восприятия и использования их для управления своим поведением.

Часть материально-энергетической системы, предназначенная для восприятия и хранения результатов отражения, с целью воспроизведения и использования их в интересах системы в целом, называется памятью. Результаты отражения объектов внешнего мира внутренних ощущений в памяти человека называется образами.

Как правило, чувственные органы человека воспринимают не полный образ наблюдаемого объекта, а только те его свойства, которые данный человек считает наиболее существенными по каким-то причинам. Человек

способен присваивать образам символические имена из некоторого языка и связывать эти имена определенными логическими (мысленными) отношениями. Сформированная в памяти человека логическая система имен (идентификаторов образов) называется понятием.

С другой стороны, понятие можно определить и как некоторую языковую конструкцию, имеющую определенный смысл, т. е. образное содержание.

Система понятий и логических отношений между ними, отражающая какую-нибудь сторону реальной действительности называется знаниями. Каждый субъект обладает памятью и механизмом целенаправленной манипуляции понятиями и знаниями. В целом эта система называется сознанием.

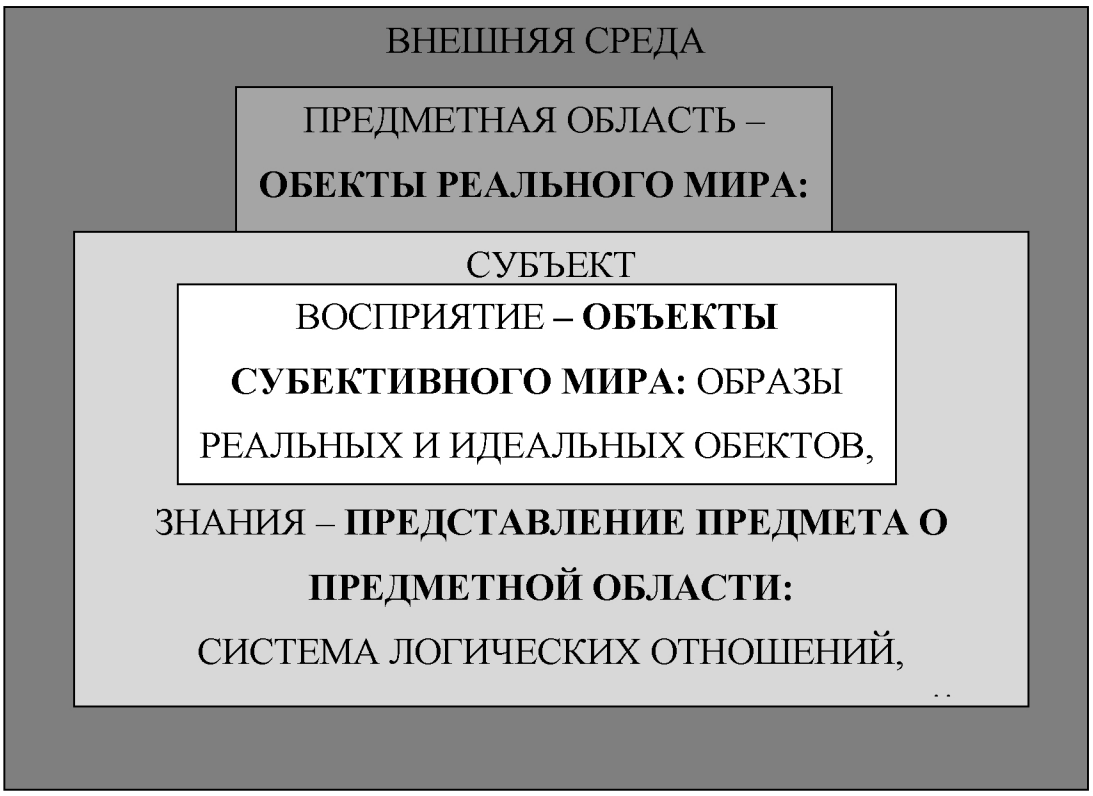



Рисунок 2.1 - Схема определения понятия
«знания о предметной области»

Процесс целенаправленной манипуляции знаниями в сознании субъекта называется мышлением.

Сознание субъекта присваивает каждому понятию, как и образу, символическое имя, определенное на языке, которым владеет данный субъект. Из имен понятий и образов формируется текст, представляющий собой знания субъекта о некоторой предметной области, закодированные на данном языке. Наглядная схема определений, связанных с понятием предметной области, представлена на рисунке 2.1.

Таким образом, основным элементом любого знания является понятие, представленное на определенном языке. Понятие в процессе приобретения знаний и в процессе мышления субъекта имеет три значения:

• семантическое, отражающее значения свойств объектов, замечаемых субъектом;

• синтаксическое, связывающее понятия в выражения, предложения и тексты, имеющие определенный семантический смысл и поэтому представляющие знания субъекта о предметной области на определенном языке;

• символическое, представляющее понятия, как слова и формальные выражения, составленное из символов алфавита языка данного субъекта.

Выражения, предложения и фразы со своими значениями образуются при помощи грамматики языка, используемого субъектом для представления знаний.

Грамматика представляет собой систему правил, определяющих логические отношения между понятиями с учетом их семантических, синтаксических и символических значений.

Следовательно, приобретение знаний о предметной области есть процесс формирования в сознании субъекта понятий о существенных свойствах объектов предметной области и отношений между понятиями в виде текста, состоящего из выражений, предложений и фраз, обладающих

соответствующими семантическими, синтаксическими, и символическими значениями.

Анализ данного процесса позволяет выяснить механизм мышления субъекта и факторы, влияющие на правдоподобие (достоверность) знаний субъекта о предметной области, а также найти способы построения правдоподобных моделей предметных областей.

Сущность процесса исследования заключается в отыскании достоверных ответов на поставленные вопросом. Общеизвестно, что какой вопрос, такой и ответ. Научные исследования предполагают отыскание ответов на корректно поставленные вопросы. В таких вопросах, как правило, требуется выбрать одно из возможных (альтернативных) решений некоторой проблемы (задачи) по определенным условиям.

Условие, по которому осуществляется выбор искомого решения, называется критерием. Как правило, критерий формулируется в виде некоторого отношения на множестве значений определенного показателя, который будем называть аргументом критерия.

Объект, с целью изучения которого проводятся исследования, называется оригиналом, а объект, исследуемый вместо оригинала для изучения определенных свойств, называется моделью. В качестве моделей могут выбираться естественные объекты, обладающие свойствами, подобными соответствующим свойствам оригинала, или же создаваться специальные искусственные объекты с нужными свойствами.

Моделирование есть метод (или процесс) изучения свойств объектов-оригиналов посредством исследования соответствующих свойств их моделей (рисунок 2.2).

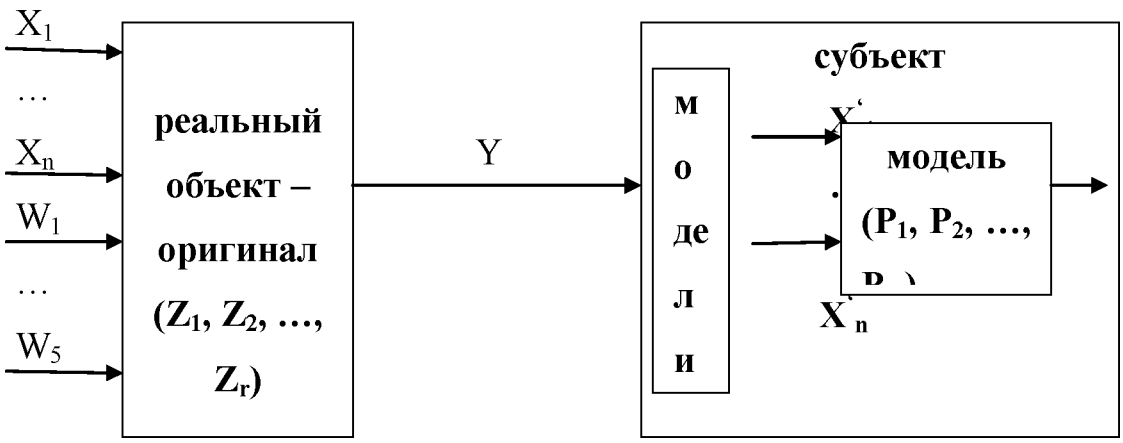



Рисунок 2.2 - Моделирование, как субъективное отражение объективной реальности

Модели, представляющие собой материальные объекты, называются натурными или материальными.

При исследовании сложных систем, как правило, создать адекватную физическую модель не представляется возможным. В этих случаях ограничиваются созданием и исследованием математических описаний закономерных отношений между значениями параметров оригиналов. Такие описания называются математическими моделями.

Математическая модель - это образ исследуемого объекта, создаваемый в уме субъект исследователя с помощью определенных формальных (математических) систем с целью изучения (оценки) определенных свойств данного объекта.

Математические (формальные) описания подобных объектов допускают приведение их тождественному виду. Под подобием понимается такое взаимно однозначное соответствие (отношение) между свойствами объектов, при котором существует функция или правило приведения значений показателей данных свойств одного объекта к значениям тех же показателей другого объекта.

Подобие есть отношение взаимно однозначного соответствия между значениями показателей однородных свойств различных объектов.

Однородными называются свойства, имеющие одинаковую размерность показателей.

Объекты с различной физической природой, например механические, электрические, гидравлические, термодинамические процессы, могут иметь однородные свойства. Другим примером отражения подобия является метод динамических аналогий, который использует аналогию сходственных величин различных физических систем (таблица 1).

На основе динамических аналогий, возможно получить общий вид уравнения, описывающего физическую систему, расчленяя эту систему в направлении передачи энергии или массы на ряд элементов, которые соответствуют участкам системы, обладающими инерционностью, сопротивлением, емкостью и т. д.; заменяя каждый элемент соответствующим членом левого столбца таблицы 2.

Таблица 1

| Электрические системы | Механические системы | | Гидравлические (пневматические) системы | Термодинамические системы |
|---|---|---|---|---|
| | Поступательное движение | Вращательное движение | | |
| Напряжение, $U$ | Сила, $F$ | Крутящий момент, $M$ | Давление, $\partial$ | Температура, $\Theta$ |
| Ток, $i$ | Линейная скорость, $V$ | Угловая скорость, $N$ | Расход, $q$ | Тепловой поток, $qT$ |
| Заряд, $q$ | Линейное перемещение, $x$ | Угловое перемещение, $\varphi$ | Объем, $V$ | Теплоемкость, $h=\Theta C_T$ |
| Активное сопротивление, $R$ | Коэффициент вязкого трения, $S$ | Сопротивление вращению, $R_B$ | Коэффициент гидравличес-кого сопротивления, $Rr$ | Термическое сопротивле-ние, $R$ |
| Индуктивность, $L$ | Масса, $m$ | Момент инерции, $I$ | Инертность, $J$ | - |
| Емкость, $C$ | Эластичность, $1/K$ | Эластичность, $1/C_M$ | Сжимаемость, $C_r$ | Термическая емкость, $C_T$ |

Таблица 2

| Электрические системы | Механические системы | | Гидравлические (пневматические) системы | Термодинамические системы |
|---|---|---|---|---|
| | Поступательное движение | Вращательное движение | | |
| Сопротивление $U_R=Ri$ | $SV$ | $R_BN$ | $R_Iq$ | $R_Tq_T$ |
| Индуктивность $U_L=pLi$ | $pmV$ | $pIN$ | $pJq$ | - |
| Емкость $U_C=\frac{1}{pC}i$ | $\frac{Kp}{V}$ | $\frac{C_M}{p}N$ | $\frac{1}{pC_\Gamma}q$ | $\frac{1}{pC_\Gamma}q_\Gamma$ |
| I закон Кирхгофа $\sum_j i_j = 0$ | $\sum_j V_j = 0$ | $\sum_j N_j = 0$ | $\sum_j q_j = 0$ | $\sum_j q_{Tj} = 0$ |
| II закон Кирхгофа $\sum_j U_j = U$ | $\sum_j F_j = F$ | $\sum_j M_j = M$ | $\sum_j g_j = g$ | $\sum_j \Theta_j = \Theta$ |
| Потери энергии в сопротивлении $Ri^2$ | $SV^2$ | $R_BN^2$ | $R_Iq^2$ | - |
| Запас энергии в индуктивности $\frac{Li^2}{2}$ | $\frac{mV^2}{2}$ | $\frac{IN^2}{2}$ | $\frac{Iq^2}{2}$ | - |
| Запас энергии в емкости $\frac{CU^2}{2}$ | $\frac{F^2}{2K}$ | $\frac{M^2}{2C_M}$ | $\frac{C_\Gamma g^2}{2}$ | - |

Замена дифференциальных уравнений в частных производных системой обыкновенных дифференциальных уравнений равносильна замене функций состояния рядом значений этих функций в дискретных точках (квантование в пространстве).

Нелинейные системы представляются разложениями на линейные подсистемы, связанные умножителями, сумматорами или логическими блоками.

В общем случае система представляется *k*-сетью, основные линейные, нелогические блоки которой описываются операторами, представленными в таблице 2.

После предварительного синтеза сети, представляющей анализируемую систему, проводятся ее моделирование и проверка адекватности путем сравнения с экспериментальными данными или теоретическими соотношениями, которые не были непосредственно использованы при синтезе.

Математическая модель является не самоцелью, а только средством для решения определенной проблемы. В связи с этим необходимость создания математической модели вытекает из выбираемой исследователем методики решения проблемы. Для решения сложных проблем обычно применяют так называемый системный исход, в котором моделирование является основным методом исследования. В целом системный подход предполагает следующие этапы решения проблемы:

– изучение предметной области (обследование);

– выявление и формулирование проблемы;

– математическая (формальная) постановка проблемы:

– натурное и/или математическое моделирование исследуемых объектов и процессов;

– статистическая обработка результатов моделирования;

– формулирование альтернативных решений;

– оценка альтернативных решений;

– формулирование выводов и предложений по решению проблемы.

В общем случае процесс исследования можно представить в виде следующей формальной системы:

$Y_{(t)} = f\,[X_{(t)}, \Theta_{(t)}]$ – функция выходов,

$\Theta_{(t)} = g[X_{(t)}, \Theta_{(t-1)}]$ – функция переходов,

$X_{(t)} = u\,[Y_{(t-1)}]$ – функция управления процессом.

Здесь $X_{(t)}$ – множество значений входных факторов в момент времени t, $\Theta_{(t)}$ – множество значений параметров, характеризующих различные внутренние состояния сложной системы в этот же момент времени, $Y_{(t)}$, $Y_{(t-1)}$ – множества значений измеряемых показателей изучаемых свойств системы в обозначенные моменты времени. Первые два уравнения моделируют суть изучаемого процесса, а третье уравнение является математическим описанием (моделью) процесса воздействий исследователя на изучаемую систему. Исследователю, как правило, доступно только определенное подмножество $Y'$ наблюдаемых параметров и весьма ограниченное подмножество $X'_{(t)}$ управляемых факторов. Его представление о внутренних состояниях исследуемой системы также ограничено некоторым подмножеством $\Theta'_{(t)}$. Поэтому в представлении исследователя математическая модель исследуемой им системы имеет вид:

$$f'\,[X'_{(t)}, \Theta'_{(t)}] = Y''_{(t)}$$

$$g'[X'_{(t)}, \Theta'_{(t)}] = \Theta_{(t+1)}$$

В целом формализованная схема процесса исследования сложной системы показана на рисунке 2.3.

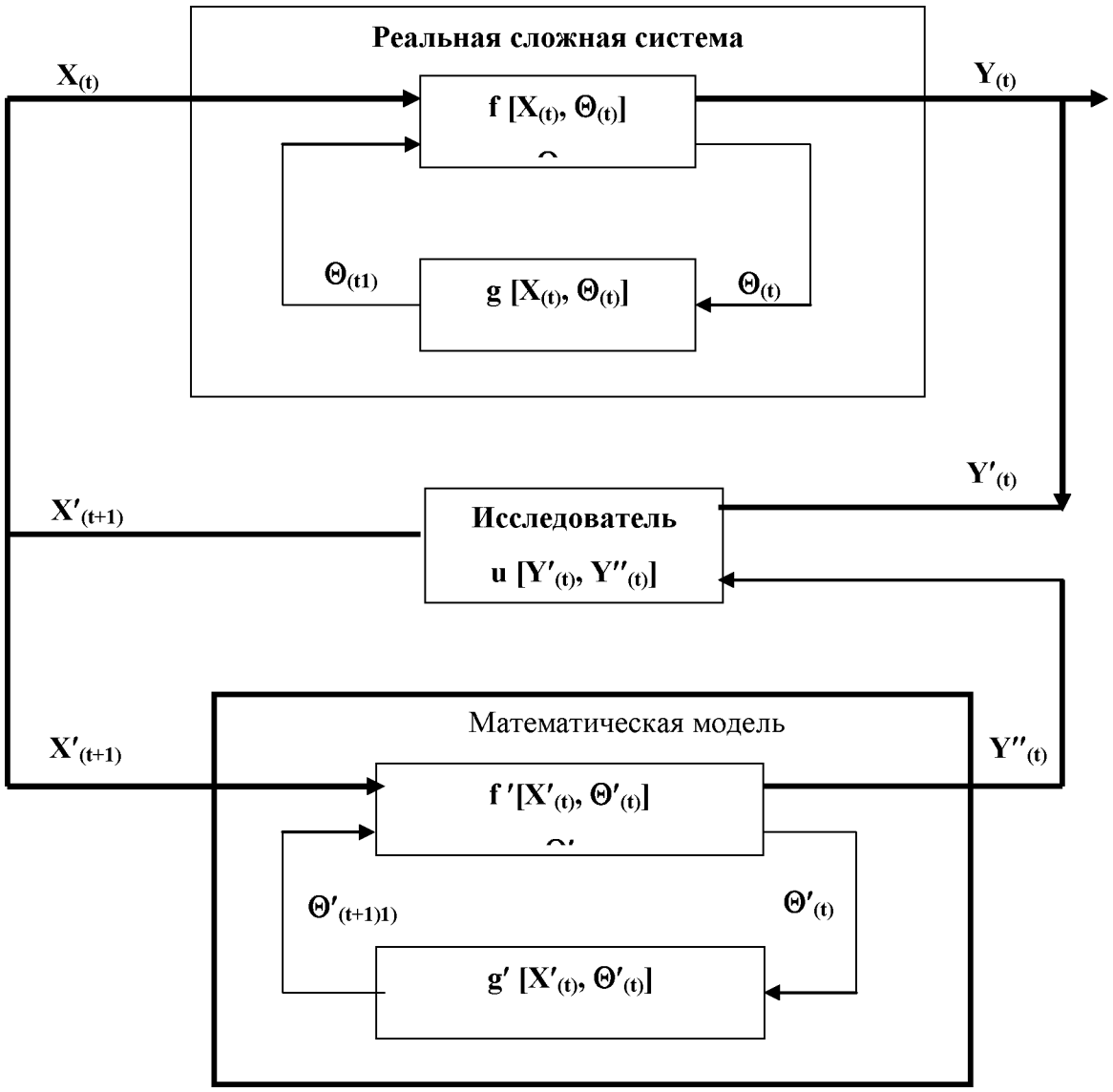



Рисунок 2.3 – Схема обобщенной математической модели процесса

Таким образом необходимость математического моделирования является основой системного подхода к решении. сложных проблем. Разработка математических моделей представляет собой сложную исследовательскую задачу, процесс решения которой состоит из следующих этапов:

– концептуальное проектирование;

– эскизное проектирование;

– техническое проектирование;

– рабочее проектирование;

– постановка и проведение модельного эксперимента;

– статистическая обработка результатов моделирования;

– формирование альтернативных решений исследуемой проблемы.

## 2.2 Тензорная методология исследования сложных систем

Создание и использование технических, организационных, энергетических, транспортных, производственных, военных и других систем требует специального теоретического осмысление общих закономерностей построения и функционирования систем любой природы. Другими словами обществу нужна системная философия (системология), общая теория и множество специальных теорий анализа и синтеза сложных систем. Людей практически занимающихся проектированием сложных систем, уже не устраивает вербальная философия на уровне рассуждений об общих закономерностях развития природы и общества. Современная наука ищет способы и методы строгой формализации этих рассуждений на основе последних достижений математики, логики, кибернетики, информатики и других точных наук. В предыдущем разделе были изложены некоторые принципы исследования и проектирования сложных систем, известные как принципы системного подхода к проектированию объектов. Методологической основой системного подхода является теория и практика математического моделирования сложных систем. Классический системный подход, как правило, опирается на математическое моделирование с использованием теории подобия теории научного эксперимента, математической статистики, теории алгоритмов и ряда других фундаментальных классических теорий. Наряду с этим классическим направлением за последние десятилетия предпринималось много попыток создания системологии адекватной новым условиям цивилизации. Это особенно заметно в области проектирования информационно - управляющих систем и программного обеспечения ЭВМ. Одним из направлений

проектирования, анализа и синтеза сложных систем является использование тензорных методов, и, в частности, одним из направлений является направление, созданное Г. Кроном.

Первоначально тензорный анализ, разработанный в XIX в., назывался «абсолютным исчислением». Его основная задача заключалась в том, чтобы избавиться от громоздких преобразований проекций геометрических объектов при изменении системы координат так, чтобы производить действия непосредственно с самими объектами.

Наличие объекта (тензора) вне систем координат приводит к тому, что при изменении системы координат его проекции преобразуются по определенным (линейным) законам. Наличие такой формулы преобразования позволяет говорить, что разные наборы чисел (относящихся к разным координатам) представляют один и тот же объект. Кроме того, и это для нас важно, имеется возможность знать проекции только в одной системе координат и без нового проектирования определять проекции того же объекта в любой другой системе по формулам преобразования координат друг в друга - это главное свойство тензорного метода, позволяющее применять его в теории сложных систем.

Исследование, расчет и проектирование сложных систем стало одной из новых проблем современной науки. Под сложными системами понимают крупные производственные, технологические, информационно-вычислительные комплексы, крупные физические, технические, экономические, биологические, экологические системы, охватывающие объекты и процессы в больших масштабах в своей области, а также связь различных областей.

Само перечисление показывает, что многообразие тех объектов, которые называют сложными системами, столь велико, что трудно найти между ними что-то общее кроме их сложности. Искать, однако, с необходимо, поскольку сложность систем как по количеству элементов и связей, так и по процессам

непрерывно возрастает. В то же время накопленный опыт разработки таких систем показывает, что установилось мнение об индивидуальности каждой сложной системы, необходимости разрабатывать для нее заново теорию, методы расчета и проектирования. Это снижает эффективность разработок, не позволяет использовать уже полученные результаты при разработке новых систем.

Тензорная методология предназначена как раз для того, чтобы получить единый подход к исследованию сложных систем различной природы. Ее основные особенности следующие.

1. Использование аналогий по структуре и протекающим процессам в различных системах. Это позволяет раздёлить на классы те системы, которые имеют такие аналогии, и рассматривать все системы из одного класса как некоторые проявления (как бы проекции в частные системы координат) одной, абстрактной, обобщенной системы. Если рассматривать обобщенную систему как тензор, а конкретные системы этого класса - как ее проекции в частных системах координат, то можно использовать главное для тензорного метода, о чем говорилось выше. А именно: надо выбрать одну систему и использовать ее в качестве «эталонной» системы координат, а описания (уравнения) других систем приводить к описанию в терминах этого эталона (моделировать). Конечно, для эталона должны быть хорошо разработаны как теория, так и методы расчета, проектирования. Тогда можно их использовать для тех систем, модели которых построены. Можно также надеяться расширить понятийное: содержание исследуемой системы за счет более развитых понятий эталона.

2. В качестве эталона желательно в каждом классе использовать такие системы, для которых разработаны тензорные методы расчета. Такие методы разработал известный американский ученый и инженер Г.Крон (1901—1968) для электрических сетей (цепей) и электрических машин. Тензорный анализ сетей можно взять за основу построения эталона для

моделирования сложных систем. Уравнения других (не электрических) систем для моделирования их в терминах эталона необходимо приводить к тензорному виду. Г. Крон заложил основы применения тензорного метода для исследования различных сложных систем.

Сразу возникает как минимум два вопроса. Во-первых, а почему надо использовать электрические цепи, чем они, собственно, лучше любых других? Во-вторых, само упоминание о тензорах предполагает, что есть пространство и системы координат в нем, иначе нельзя говорить о формулах преобразования при изменении системы координат. Что это за пространство? Каковы его свойства?

Эти вопросы связаны между собой. Попыткой ответить на них является данная книга. Возможность полного ответа ограничена не только небольшим объемом, но и недостаточной ясностью существующих ответов. В конце концов можно сказать, что это - развивающееся направление, хотя оно имеет уже свои признанные результаты. Здесь автор позволит себе лишь несколько замечаний, которые, возможно, несколько прояснят суть дела. Как уже отмечалось, любая сложная система - это структура связанных элементов плюс процессы, протекающие в этой структуре. Этим мы очерчиваем круг рассматриваемых систем. Элементы структуры образуют пути (замкнутые и разомкнутые); сами элементы могут быть точками, отрезками линий, плоскостями, объемами и т. д. Процессы протекают в этих путях в виде потоков одних величин под действием других величин.

Свойства и законы структур изучает для одномерных ветвей (отрезков) теория графов, а в более общем, многомерном виде - комбинаторная топология. Процессы, в которых объединяются, потоки воздействия и откликов, возникающие при этом метрические отношения - это, скорее, предмет теоретико-множественной топологии, дифференциальной геометрии. Не существует на сегодня математического аппарата, объединяющего одновременно структуру и метрику.

Пути, группы гомологий, комплексы комбинаторной топологии не имеют метрических размеров. Дифференциальные формы не образуют структуры. В этом отношении электрическая цепь как эталон для моделирования других систем имеет преимущества. Главное заключается в том, что теория расчета такой системы, как электрическая цепь, рассматривает уравнения как процессов, так и структуры одновременно. Методы расчета цепей, включая тензорные методы, разрабатываются на протяжении полутора веков и достигли высокого уровня.

Процессы прохождения тока в электрической цепи описываются хорошо известным законом Ома (и его обобщениями). Структура цепи (контуры и узлы) описывается не менее известными законами Кирхгофа (с них началась комбинаторная топология!).

Теперь о пространстве. В отличие от однородного непрерывного пространства геометрии мы будем рассматривать пространство-структуру, которое состоит из элементов, образующих структуру системы, и поэтому дискретно. Пространство электрической цепи образуют ветви. Наборы проходящих по ветвям независимых замкнутых и разомкнутых путей используются как системы координат. Изменение структуры или другой выбор путей рассматривается как преобразование координат.

В процессе изучения этих новых типов пространств медленно возникала новая та тематическая дисциплина, которая оформилась в действенный аппарат благодаря Риччи и Леви-Чивитта. Этот новый аппарат теперь принято называть «тензорным анализом».

Ощутимым толчком к применению нового математического инструмента в изучении физических проблем послужило создание теории относительности, в которой Эйнштейн показал, что наш физический мир сам по себе не является ни трехмерным, ни евклидовым. Как только тензорный анализ стал хорошо известен физикам, он с возрастающей частотой стал применяться при изучении проблем классической динамики - в

гидродинамике, теории электромагнетизма, теории упругости и, наконец, в квантовой механике. Так как инженерные проблемы по самой природе используемых переменных не являются по существу трехмерным и евклидовым, возникла необходимость в создании инженерного аппарата, ориентированного на любое число переменных наиболее систематическим способом. Эта необходимость и вызвала применение тензорных методов к решению инженерных проблем.

Для выработки единой точки зрения, охватывающей широкую область интересов инженера - от сетей до теории поля, от прямолинейных до криволинейных осей координат, от неподвижных систем до систем, движущихся с ускорением, такой, чтобы знания, полученные в одной области техники, могли быть использованы в совершенно другой области техники, автор не пошел по избитому пути, по которому идут другие, как в используемом *аналитическом аппарате*, так и в *методе рассуждения.* (Окончательные результаты, естественно, получаются такие же, что и у других авторов, если исследуемая проблема базируется на одинаковых исходных допущениях.)

Аналитический аппарат, используемый при установлении общей точки зрения на все разнообразие инженерных структур, такой же, как и применяемый физиками в их поисках единой точки зрения на классическую, релятивистскую и квантовую физику, а именно, *тензорный* и *спинорный* анализ (известный также как абсолютное дифференциальное исчисление). *Метод рассуждения*, применяёмый автором в инженерных задачах, очень близок методу, используемому современной теоретической физикой, а именно геометрическому методу рассмотрения одного из разделов геометрии, называемого *дифференциальной геометрией.*

Однако для решения инженерных проблем оказалось необходимым расширить понятия дифференциальной геометрии и объединить их с понятиями другого раздела геометрии, называемого *топологией.* Этот раздел

до настоящего времени не имел существенного значения для изучения физических явлений. Для решения инженерных проблем пришлось объединить с помощью тензорных методов понятия, заимствованные из этих совершенно различных разделов, превратив их в единый инженерный метод.

Ключевой идеей рассматриваемого подхода является организация разнообразных сетей в соответствии с их фундаментальными свойствами и ожидаемым назначением.

*Эта организация реализуется введением «групп преобразований», которые управляют развертыванием анализа подобно тому, как офицеры различного ранга направляют движение своих подчиненных.*

Некоторые аспекты вводимой здесь организации уже известны инженерам-электрикам. Стенографическая процедура обозначения групп членов с помощью одного символа используется инженерами в процессе решения систем линейных уравнений с помощью детерминантов или при манипуляциях с ними при помощи матриц. Обозначение комплексных чисел $r+jx$ с помощью одного символа $z$ является подобной организацией. Такой стенографический способ обозначения использовался в электротехнике еще со времен Кирхгофа. Позднее Штрекер и Фельдкеллер и их последователи систематически использовали матрицы с двумя строками и двумя столбцами в анализе сетей из четырехполюсников; Кауэр и его последователи использовали такие же матрицы для синтеза сетей.

Дальнейший шаг в совершенствовании организации - обозначение одним символом не набора чисел, а *физического объекта*, действительно существующего в природе. *Векторный анализ*, используемый инженерами-электриками со времен Максвелла, является примером организации этого типа. Поскольку один и тот же физический объект можно измерить по отношению к бесконечному числу систем отсчета (координат) и каждое измерение дает набор чисел, то теперь *один символ представляет бесконечное количество таких наборов чисел вместо одного*. Векторный

анализ, однако, является весьма ограниченным типом организации, поскольку он представляет только физические объекты, существующие в трехмерном евклидовом пространстве. Понятие «группа преобразований» уже присутствует в векторном анализе, связывая значения компонент физического объекта в различных системах координат трехмерного евклидова пространства.

Более совершенный тип организации, используемый в физических проблемах, требует ввести обобщенные координаты и использовать новые типы пространств, имеющих более трех измерений и более сложную структуру, чем евклидово пространство.

Эти новые типы пространств наполнены новыми типами физических (или геометрических) объектов, каждый из которых обозначается своим символом. Эти пространства и объекты, существующие в них, порождаются «группой преобразований» так, что имеется столько различных пространств, сколько соответствующих им «групп преобразований». Структура этих основных пространств зависит от типа объектов.

Тензорный анализ занимается систематическим изучением этих обобщенных пространств и объектов в них. С этой точки зрения *тензорный анализ можно рассматривать как расширение и обобщение векторного анализа от трех - до n-мерных пространств и от евклидовых до неевклидовых пространств*. Конечно можно совсем отказаться от геометрической картины и рассматривать тензорный анализ как изучение новых типов математических объектов.

Эти новые типы пространств радикально отличаются от обычного евклидова пространства, следовательно, для их изучения необходимо отказаться от обычных интуитивных понятий пространства. Простейшие определения векторного анализа такие, как например, «вектор есть объект, имеющий величину и направление», следует отбросить, так же как и другие установившиеся понятия и определения типа «величина», «направление»,

«параллельность». При изучении тензорного анализа необходим с самого начала новый подход к определению геометрических или физических объектов и манипулированию ими.

Организация этим не ограничивается. n-мерные пространства можно обобщать до бесконечномерных пространств. Кроме того, вместо использования только четырех-, пяти - и вообще целочисленно-размерных пространств можно использовать 2/3-, 4,375- или $\pi$ - мерные пространства, включающие все типы сложных структур. Эти пространства используются в исследовании более фундаментальных электродинамических явлении.

Остановимся более подробно на аналитическом аппарате тензорного анализа.

I. Подобно любому мощному аппарату тензорных могут быть использованы в самых различных направлениях в зависимости от индивидуальных взглядов и устремлений людей. Приведенные ниже соображения могут пояснить некоторые стороны применения тензоров в анализе и синтезе возникающих перед инженером весьма различных взаимосвязанных проблем.

*Использование тензорного анализа в решении инженерных проблем можно сравнить с использованием стального каркаса при возведении небоскребов.*

*Преимущества, открываемые использованием стального каркаса при возведении зданий, аналогичны преимуществам, открываемым использованием тензоров в решении инженерных проблем.*

Обнаружено, на языке тензорного анализа можно получить уравнения, подобные стальному каркасу, которые представляют поведение и характеристики самых разнообразных сетей или вращающихся машин, или передающих систем. Будучи однажды установлены, эти тензорные уравнения позволяют находить уравнения поведения или характеристик любой *частной*

сети или машины, или передающей системы *рутинной* подстановкой частных констант.

II. Эта гибкость тензоров позволяет инженеру при изучении, скажем, разнообразнейших вращающихся машин выделить одну, которая имеет наиболее простую структуру, и изучать свойства и уравнения только этой частной простой машины. Если инженер изучает метод анализа и физические явления, свойственные этой частной машине, используя тензорные понятия, он изучает в то же время физику, метод анализа и решения сразу множества машин вместо того, чтобы изучать новые приемы для каждой частной машины, как это необходимо при других методах атаки, которые даются во всех учебниках по машинам.

Эти две характеристики тензорных методов - возможность возводить аналитические *«небоскребы»* и возможность вводить массовое производство в анализ и синтез инженерных задач - особо выделяются в книге. Первая характеристика тензорных методов дает возможность инженеру атаковать и решать такие проблемы, к которым он не может приблизиться либо из-за механических вычислительных трудностей, либо из-за трудности в наглядном представлении физической сущности проблемы. Вторая характеристика дает возможность использовать рассуждения и результаты одной решенной проблемы в решении многих других проблем, сохраняя на будущее все или часть результатов одного исследования в тензорной форме и расширяя или комбинируя их разными способами при разнообразных новых исследованиях.

Это сохранение и повторное использование результатов предыдущих исследований аналогично хранению стандартных узлов, таких как рамы, листы сердечников, валы и подшипники вращающихся машин; их немедленно можно превратить в сложные механизмы различного назначения сразу при получении заказа вместо того, чтобы при необходимости создавать каждый раз новую конструкцию. Метод тензорного анализа, имеющийся в

распоряжении инженера, позволяет ему комбинировать свои тензоры, которые он создал раньше, и преобразовывать их в новые, необходимые ему тензоры, не повторяя весь анализ всякий раз, когда возникает новая проблема.

III. Во всякой инженерной проблеме существует абсолютный минимум обязательного количества сложений, умножений, делений, нахождения корней, без вычисления которых нельзя обойтись при любой организации подхода. Стальной каркас создает удобства для более систематического использования вычислительных машин, и это позволяет инженеру передать большую часть своей работы вычислительной машине.

IV. Очень важное преимущество «стального каркаса», которое было достигнуто впервые при изучении физических явлёний, заключается в том, что один и тот же «стальной каркас» (те же тензорные уравнения) справедлив для нескольких типов различных физических явлений. Большинство тензорных уравнений гидродинамики, электродинамики, оптики и теории упругости имеют одну и ту же форму. Они отличаются друг от друга только «кирпичной кладкой» и «отделкой». Тензорное уравнение ускоренно раскручивающейся электрической машины идентично тензорному уравнению ускоренного движения электрического заряда, рассматриваемого в криволинейной системе координат; переход от одной вращающейся машины к другой или от одной системы координат к другой включает только формальные преобразования.

Теперь остановимся более подробно на методе рассуждений, использующем геометрический расчет.

I. Для тех, кто интересуется, как метод рассуждения, используемый в двух расходящихся ветвях абстрактной геометрии (топологии и дифференциальной геометрии), может использоваться в анализе практических инженерных проблем, полезны следующие замечания.

Дифференциальная геометрия изучает, грубо говоря, некоторые специфические свойства кривых и других конфигураций, вложенных в плоские или кривые пространства двух, трех и более измерений. Наибольший интерес представляет изучение таких свойств кривых, которые не зависят от выбора той или иной системы координат в пространстве. Тензорный анализ служит мощным аналитическим инструментом в изучении таких инвариантных свойств, когда системы координат изменяются.

Топология имеет дело с еще более общими свойствами кривых, расположенных на множестве взаимосвязанных n-мерных пространств. Такой взаимосвязанной структурой является, например, куб, в котором 6 двухмерных плоскостей, 12 одномерных линий и 8 нульмерных точек связаны в одну систему. В общем случае каждое из этих пространств может быть как угодно искривлено или растянуто. Здесь также можно вводить различные системы координат на той же самой структуре для изучения кривых, расположенных, скажем, на кубе.

II. *Итак, проблемы, которые допустимо рассматривать с помощью произвольного выбора системы координат на той же самой структуре пространства, оказываются недостаточно общими, чтобы представлять реальную ценность для инженера*. В этом, возможно, и состоит главная причина того, что методы этих наук до сих пор не применяются в технике. Этот недостаток общности можно увидеть из следующих рассуждений. Инженер имеет дело с набором нуль-, одно-, двух- и трехмерных структур, взаимосвязанных всеми возможными способами. Например, передающая система содержит двух-, одно- и нульмерные структуры в виде вращающихся машин, передающих линий и узлов между линиями и машинами. Наложение электромагнитных явлений на всю передающую систему (наложение давлений на мост или усилий, приводящих машину в движение) аналогично наложению кривых на совокупность взаимосвязанных пространств различного числа измерений. Следовательно,

свойства и уравнения накладываемых кривых можно отождествить со свойствами и уравнениями электрических или механических явлений, накладываемых на подлежащую структуру; результаты одного исследования могут прилагаться к другим исследованиям простой переинтерпретацией символов.

Однако инженер весьма редко меняет систему координат на одной и той же структуре. Но он особенно часто комбинирует одно-, двух- и трехмерные структуры всеми мыслимыми способами и строит очень разнообразные новые структуры. *Инженер интересуется выбором из широкого набора этих новых структур такой структуры, которая реагирует желаемым образом на приложенные силы и является наиболее соответствующей нужной цели, но он мало интересуется тем, как одна и та же структура выглядит с различных точек зрения.*

III. Эта наиболее общая проблема техники являётся главным предметом настоящей работы; с геометрической точки зрения она может быть сформулирована следующим образом.

Пусть мы имеем набор нуль-, одно-, двух- и трехмерных пространств. Эти пространства могут быть плоскими, криволинейными, с кручением и т. д. *Пусть этот набор пространств связан друг другом самым различным образом подобно тому, как связаны и взаимосоединены самым различным образом компоненты технических систем, и пусть на каждую из таких структур наложены некоторые типы конфигураций* (такие, скажем, как кратчайшие линии между двумя точками), подобно тому, как физические явления накладываются на инженерные структуры.

Конечно, каждая конфигурация может быть выражена уравнением, если на каждой структуре вводится та или иная система координат. *Одной из проблем, которая должна быть исследована, является нахождение простого пути для установления уравнений на всех различных типах структур при условии, что уравнение данной конфигурации на одной*

*частной структуре уже известно*. Говоря геометрическим языком, проблема состоит в установлении *соответствия* между конфигурациями, которыё расположены на различных типах структур (или в нахождении группы преобразований). На языке инженера проблема состоит в нахождении *формальной процедуры*, позволяющей получить уравнение поведения системы на всех возможных типах структур при условии, что это уравнение известно для одной структуры. *Структуры могут содержать различное число и разные типы пространств.*

Формальная процедура изменяет значение компонент уравнения поведения с помощью группы преобразований (называемой «тензором соединения»), представляющей способ взаимосоединения различных пространств. При использовании этого метода инженеру надо установить (из чисто физических соображений) уравнение только одной системы (так называемой «примитивной системы), в то время как уравнения всех других систем получаются автоматически, без изучения этих систем каждый раз сначала.

С этим процессом перехода от системы координат *на одной структуре* к некоторой произвольной системе координат на *другой структуре* связан также обычный процесс перехода от одной системы координат к другой на *той же самой структуре*, встречающийся очень часто как частный случай процесса первого типа. Конечно, на каждой структуре можно вводить многочисленные действительные или гипотетические системы координат.

V. Работа включает изучение структур, в которых взаимосоединяются только нуль- и одномерные пространства. Из-за простоты соединяемых пространств не требовались понятия из области дифференциальной геометрии, и большинство понятий было заимствовано из топологии.

Таким образом, главная цель тензорного анализа и его приложений к другим наукам обычно состоит в установлении всеохватывающих уравнений,

широких выводов, справедливых для возможно большего количества случаев. Однако для технических приложений эта точка зрения недостаточна. В инженерной работе необходимо также получать конкретные ответы на конкретные проблемы за минимальное время.

Остановимся наиболее подробно на трудностях расчета, проектирования, управления крупномасштабными системами.

Развитие производства, науки и техники XX в. приводит к созданию все более и более сложных систем. Огромных масштабов достигли производственные, технологические комплексы; информационные системы, вычислительные комплексы, банки данных, системы управления, регулирования; электроэнергетические сети и системы; растут масштабы и сложность управления в экономических системах. С ростом сложности систем возникают две основные трудности:

1. Из-за масштабов трудно производить действия с такими системами (расчет, проектирование, управление), предвидеть последствия тех или иных изменений, оптимизировать работу систем и т. д. Большое разнообразие элементов системы, а также связей между ними затрудняют применение вычислительной техники. Дело в том, что количественный и качественные изменения, не до конца исследованные и понятые.Точного научного определения, что считать сложной системой, на сегодня не существует. Сложность связывают с числом и видами составляющих систему элементов и связей, отношений между ними.

2. Исследование и разработка каждой сложной системы требует больших затрат ресурсов, привлечения больших коллективов разработчиков. Использование же достигнутых результатов при новых разработках стало практически невозможным, поскольку разнообразие природы и типов сложных систем породило тенденцию считать их несопоставимыми, уникальными. Общим для таких систем считается только их сложность. Для каждой системы разрабатываются свои методы исследований и расчетов, что

значительно снижает общую эффективность, тем более, что объемы расчетов возрастают пропорционально третьей степени размеров системы.

Оказывается, однако, что с ростом сложности систем растет роль таких характеристик, которые во многом являются общими для разных систем. Это позволяет получать и использовать аналогии между системами различной природы как по структуре, так и протеканию процессов в этой структуре.

Главная проблема в разрешении этих трудностей заключается в том, что необходимо разработать единый способ представления и описания физических, технических, экономических и других сложных систем. Создание единого языка описания необходимо, иначе дальнейшему возведению здания современной науки и техники может грозить судьба Вавилонской башни. Заметим, что во всех системах в том или ином виде происходят процессы преобразования материи, причем эти процессы происходят и повторяются многократно в различных частях систем. Выделив наименьшую часть системы, в которой еще продолжает полном объеме происходить характеризующий эту систему процесс, мы можем считать эту часть элементом системы, а всю систему - состоящей из этих элементов. Процессы в элементах разных систем могут быть похожи, скажем, описываться одинаковым числом параметров, подчиняться подобным друг другу уравнениям и т. д.

Далее примем во внимание, что сложная система состоит из многих элементов, соединенных друг с другом. Соединения, связи могут быть различные по типу, сложности, количеству. Таким образом, можно сказать, что в сложных системах процессы образуют структуру. Какие аналогии возможны между структурами систем различного типа? Во-первых, аналогии между размерностью элементов. С геометрической точки зрения элементы могут быть точками, одномерными линиями, двухмерными поверхностями, трехмерными объемами, а при более абстрактном рассмотрении также и многомерными элементами. Можно, следовательно, классифицировать

системы по размерности элементов или их комбинаций. Во- вторых, соединения, последовательности элементов образуют пути в структуре. Пути могут быть замкнутые и разомкнутые; их размерность определяется размерностью элементов.

Итак, мы наметили два пути поиска аналогий между системами – процессы и структура. Предположим, удалось подобрать группы, совокупности различных систем, аналогичных по типу процессов, размерности элементов и структуре, образуемой ими. Чем это поможет в разрешении указанных в начале главы трудностей?

Первое, что приходит в голову, - это попытаться использовать полученные уже результаты для одних систем при разработке других систем. Для этого необходимо подробно разработать теорию, методы расчета, проектирования, управления какой-нибудь одной системы, а затем, используя аналогии процессов и структуры, получать результаты для остальных систем этой группы с помощью каких-нибудь стандартных преобразований.

Наличие аналогий, позволяющих сравнивать разные системы, говорить об их сходстве и различии, заставляет задуматься, а не являются ли эти системы различными проявлениями чего-то для них единого, скажем, некоторой абстрактной, обобщенной системы, подобно тому, как разные конкретные яблоки при всем различии их цветовых, вкусовых и других характеристик все же являются конкретными проявлениями понятия «яблоко».

Теперь рассмотрим современные объекты - множество сложных систем. Сначала мы должны разделить все системы на классы систем, имеющих аналогии по процессам и структуре. Системы одного класса будут соответствовать разным скульптурным изображениям одного образа.

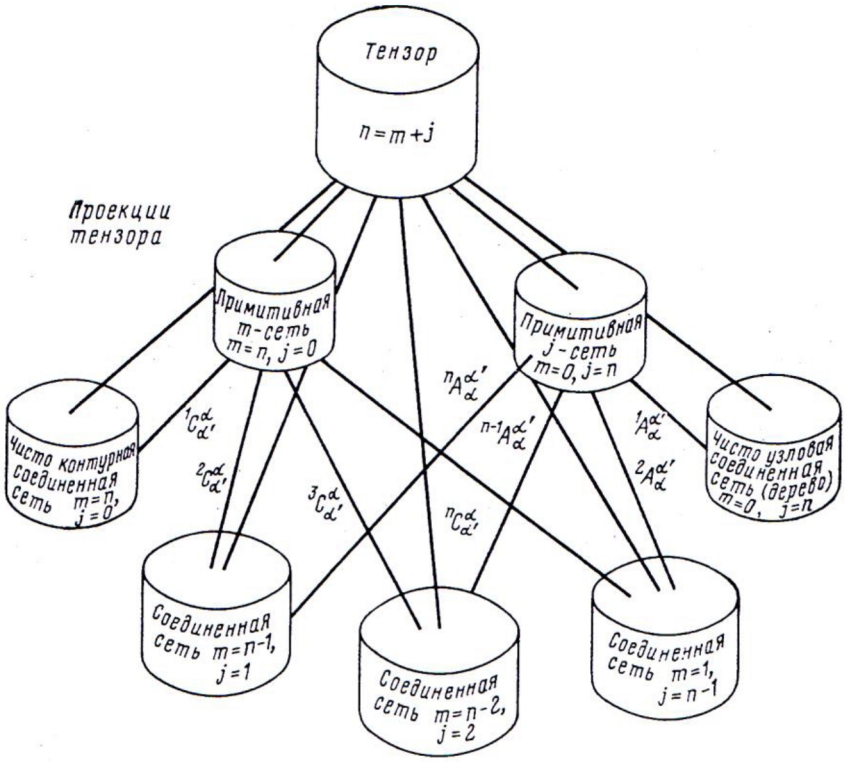



Рисунок 2.4 – Схема тензорного метода расчета электрических сетей.

Совокупность из n ветвей рассматриваем как тензор. Соединения этих ветвей, образующие структуру конкретных сетей, рассматриваем как проекции тензора в системах координат, заданных путями в сети.

В каждом классе выберем одну из систем в качестве эталона и будем с ним сравнивать остальные системы, т. е. выражать их описания в терминах эталона – моделировать. Для самой эталонной системы должна быть разработана своя теория, в которой система определяется обобщенно набором элементов, а все соединенные их них различные структуры рассматриваются как ее проекции в разных системах координат. При этом должна быть разработана группа стандартных преобразований, позволяющая по результатам расчета одной (желательно наиболее простой) структуры получать результаты расчета любой другой структуры, соединенных из тех же элементов (рисунок 2.4).

Получаем два уровня. На первом эталонная система служит для представления систем, реализующих обобщенную. На втором уровне

эталонная система сама служит в качестве обобщенной, а роль эталона играет простейшая структура, состоящая скажем, из несоединенных элементов (рисунок 2.5).

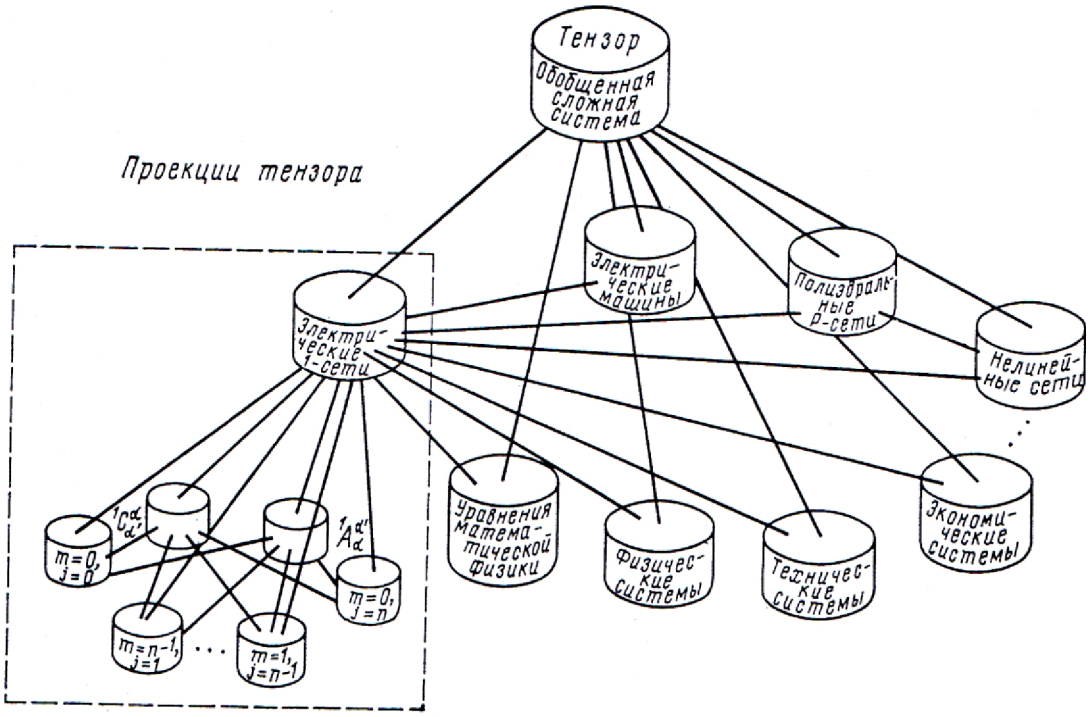



Рисунок 2.5 – Схема тензорной методологии сложных систем

Абстрактную обобщенную систему рассматриваем как тензор, технические, физические, экономические системы, обладающие аналогиями по структуре или протекающим в ней процессам, - как проекции этого тензора, а электрическую сеть как простейшую систему координат.

## 2.3 Тензорное моделирование технологических процессов

Развитие автоматизации производства, роботостроения, дальнейшие совершенствования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) настоятельно требуют разработки теоретических основ технологии.

На современном этапе развития теории технологии не сформировано единых подходов и концепций, позволяющих решить теоретические

вопросы отдельных видов технологических процессов. В то же время существует большое количество направлений технологической науки, которые связаны с конкретными отраслями производства.

Центральную роль в развитии теории технологии в последние годы играют методы математического моделирования, базирующиеся на фундаментальных работах А.Н. Гаврилова, Н.П.Бусленко, Н.С. Райбмана, В.А. Горбатова и др.

Для решения определенного круга технологических задач разработано множество моделей, практически не связанных в единую обобщенную модель.

Рассмотрим наиболее широко используемые модели при описании и решении задач моделирования технологических процессов. Это прежде всего линейные модели. Относительная простота линейных моделей привела к широкому их распространению как для описания стационарных, так и нестационарных объектов и процессов. Однако многомерность технологических процессов, невозможность оценки всех параметров этих процессов ограничивают применение стационарных линейных моделей. Для многомерного случая эта модель применяется, если система полностью управляема и наблюдаема. Описание технологических процессов стохастическими моделями с применением полных вероятностных характеристик или моментных характеристик случайных функций используется для теоретических исследований этих процессов в многомерном случае и лишь для одновременного случая имеет практическое значение.

Наряду с аналитическими моделями широко применяются экспериментальные методы построения моделей по входным и выходным сигналам объекта, т.е. методы идентификации. Эти методы находят применение в том случае, когда аналитические методы чрезвычайно сложны. Кроме того, методы и теория идентификации в совокупности с

существующими методами линеаризации дают возможность описать реальные технологические процессы линейными стационарными моделями. Для построения описания технологических процессов с помощью линейных моделей применятся дисперсионные методы идентификации, методы представления с помощью разложения в ряд, методы кусочной аппроксимации и ряд других, менее распространенных методов. Предложенные математические модели и методы лишь частично решают теоретические вопросы создания современных технологических процессов на базе ЭВМ, роботов, АСУ ТП и т.п. Кроме этого, рассмотренные выше модели и методы применяются в основном при описании непрерывных технологических процессов.

Теоретические методы построения описания дискретных технологических процессов начали широко разрабатываться лишь в последние десятилетия прошлого века. В этом плане следует отметить работы .

В последнее время предпринимались попытки построения общей теории управления технологическими процессами на базе языка теории управления . Однако многомерность, нелинейность, наличие большого количества внутренних обратных связей, отсутствие полной информации о взаимосвязи между переменными в динамике не позволяют получить точное математическое описание реального технологического процесса.

Технология изготовления сложных систем (СС) развивалась главным образом на основе экспериментальных исследований. Технологический анализ конструкций этих изделий строится на основе опыта технолога, результаты которого дают лишь частичное решение задач проектирования оптимальных технологических процессов. Анализ точности и устойчивости этих процессов проводится в отдельных случаях. Задачи оптимального синтеза процессов раскроя, соединений и сборки практически не ставились.

Объективной причиной отставания научного уровня технологии создания СС и их компонент является исключительная сложность получения формализованного описания технологических процессов соединений в терминах образов и движений, основанных на использовании многообразия разнородных явлений.

Все расширяющаяся тенденция комплексирования и многофункциональности бортовых самолетных и ракетных систем выдвинули оптимизационные задачи на первый план, решение которых невозможно без применения математических методов.

Все вышеизложенное позволяет наметить несколько проблем, связанных с разработкой теоретических основ технологии изготовления оборудования летательных аппаратов, которые должны стать основой для автоматизации проектирования технологических операций и процессов, внедрения и совершенствования единой системы технологической подготовки производства, исследования процессов соединения и его автоматизации.

Один из путей построения «ясной» точки зрения на задачу основан на использовании особого подхода к процессу решения, 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, – с другой.

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 невозможно при наличии множества готовых, ранее спроектированных

объектов (систем, устройств, сборочных единиц, деталей, материалов, технологических операций и т.п.), описания которых в форме моделей, отображающих объект как некоторую целостность $\{SbMi\ (O)\}$ или функциональных моделей, характеризующих объект как некоторую неделимую целостность в аспекте определенных его отношений со средой или с другими объектами $\{FnMi\ (O)\}$, доступны проектировщикам.

Решение задачи проектирования (ЗП) при использовании представлений по типу выбора из перечислений реализуется по следующей схеме: поиск или построение перечислений в виде упорядоченных множеств $\{SbMi\ (O)$, $\{FnMi\ (O)\}$ готовых проектных решений, соответствующих по уровню сущности и основным свойствам назначения тем объектам, которые составляют предмет ЗП; выделение на множествах потенциально возможных решений $\{SbMi\ (O)\}$ или $\{FnMi\ (O)\}$ 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 объекта проектирования (ОП) задаются в виде ограничений, а целевая ориентация ЗП направлена на минимизацию временных, трудовых, материальных ресурсов, реализуемых в процессе создания нового изделия и (или) освоения его в производстве. Представления на основе выбора из перечислений широко используются при решении ЗП объектов низких уровней сущности: материал, деталь, простая сборочная единица, простая технологическая операция (ТО) и цепочка ТО.

Использование представлений на основе определения в пространстве состояний предполагает наличие или возможность построения полной

структурно-функциональной модели $Str - FnMo\ (O)$ 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. Как отмечалось выше, $Str - FnM(O)$ 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. Модель $Str - FnM\ (O)$ характеризует пространство возможных состояний объектов определенного класса в границах своей применимости для всех допускае5мых данной моделью значений X и Y. Решение ЗП при использовании представления на основе определения в пространстве состояний заключается в формировании $Str - FnMi\ (O)$ проектируемого объекта, что сводится к выбору значений ряда параметров, наилучших в смысле выполнения условий ЗП – передвижения в пространстве допустимых значений параметров X и Y в $Str - FnMo\ (O)$.

## 2.4 Проблемы теории производства компонент сложных систем

Многообразие типов реальных технологических процессов даже в одной конкретной отрасли производства, например авиационной, где сливаются воедино такие процессы, как обработка материалов, заготовительные, сборочные и монтажные процессы, операции контроля и испытаний и т.д., делает задачу разработки общей теории этих процессов трудновыполнимой. Унификация теории может быть достигнута лишь для группы однотипных реальных технологических процессов при системном подходе, охватывающем этот процесс со всеми вспомогательными операциями. Комплексный интегрированный подход в области теории должен обеспечивать прежде всего решение задач реализации основных

положений этой теории при создании диагностических систем управления технологическими процессами.

Несмотря на то, как показано выше, что проблема преобразования исходных материалов, элементов, готовых изделий и т.п. в объекты СС – одна из важнейших для построения эффективных методов решения задач технологии этого оборудования, до сих пор не предложено сколько-нибудь удовлетворительной теории, способствующей решению этой проблемы.

Основным подходом к проблеме преобразования материалов, элементов, готовых изделий в СС при решении задач технологии является разработка средств глобального исследования пространства СС, результатом которого явилось бы преобразование этого пространства в другое, обладающее специфическими свойствами, полезными для решения конкретных задач технологии. Употребление термина «глобальное исследование» вызвано необходимостью отличать его от «локального исследования» пространства СС, естественно возникающего в процессе решения конкретных задач.

Среди стандартных целей такого глобального исследования в работе выделяются:

1. Переформулировка задачи путем обобщения элементов начального представления СС и отождествления полученных макроэлементов с элементами в новом представлении.

2. Обнаружение свойств пространств СС, таких как дискретности, отношений между монтажными точками, выступающих наглядно, соединенными тем или иным образом линиями, плоскостями, в общем случае многомерными объемами, которые в совокупности составляют пространство-структуру реальной СС.

3. Разделение общей топологии пространства СС на:

– элементы, составляющие структуру СС;

– монтажное пространство-структуру, наглядно представляемое точками и плоскостями, в которых они расположены;

– пространство-структуру обмена или пространство состояний – пространство из соединенных с помощью линий (проводников) элементов СС.

Переход от монтажного пространства к пространству из соединенных элементов объекта, которое названо выше пространством-структурой обмена, в дальнейшем будет представлять для реализации основных целей технологии СС главный интерес.

Путь глобального исследования пространства-структуры объекта позволяет существенно повысить эффективность решения общих задач технологии СС и разработать на базе полученных результатов методы решения конкретных задач.

Однако решение конкретных задач технологии СС (в частности, технологического анализа объектов, синтеза технологических процессов подготовки, соединений и сборки) требует локальных исследований СС и процессов их проектирования и производства и, как следствие, более детального подхода к этим задачам. Основные трудности, возникающие при этом, связаны с многообразием и сложностью как СС, так и процессов изготовления СС.

Главная проблема в разрешении этих трудностей заключается в том, что необходимо разработать такие способы представления и точного описания объектов и процессов, которые соответствовали бы полному знанию свойств этих объектов и процессов. Эти представления и точные описания должны позволять их эффективное преобразование с целью выделения определенных свойств, необходимых для использования этих свойств при решении конкретных задач технологии СС. Следовательно, наряду с проблемой представления и точного описания СС и процессов производства возникает и проблема преобразований этих представлений и

описаний для целей анализа, синтеза, управления и контроля при разработке технологических операций и процессов изготовления СС.

Задача состоит в том, чтобы на основе ограниченного базового набора преобразований, включающего декомпозицию структур СС и дифференциацию процессов соединений и сборки, разработать компактные алгоритмы, позволяющие достичь поставленных целей, т.е. решить ЗП на основе представлений.

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

заимствование или построение множества моделей $\{Str - FnMo\ (O)\}$, потенциально пригодных для формирования частных $Str - FnMi\ (O)$, отображающих отдельные структуры конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП;

выбор или синтез полной, отображающей все выделяемые структуры $Str - FnMo\ (O)$, наилучшей в смысле конкретного объекта, условий реализации критерия совершенства (КС) и ограничений данной ЗП;

построение модели $Str - FnMi\ (O)$ проектируемого объекта, т.е. параметризация $Str - FnMo\ (O)$, наилучшая в смысле КС объекта и условий реализации данной конкретной ЗП.

Тот факт, что из множества полных $Str - FnMo\ (O)$ 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 критерия эффективности и совершенства G проектируемого объекта.

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, под-подзадач 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 «редукции сложности» и в применении к ЗП эквивалентно разбиению проектируемого объекта на подобъекты более низкого уровня сущности и установлению связи между этими подобъектами. Разбиение проектируемого – неизвестного целого – на подобъекты, которые в общем случае могут иметь различную степень определенности, также означает не что иное, как построение его структурно-функциональной модели *Str – FnM* (*O*), 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 задач к подзадачам реализуется по следующей схеме:

заимствование или построение множества моделей {*Str – FnMo* (*O*)}, потенциально пригодных для формирования *Str – FnMi* (*O*) конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП (формирование множества возможных вариантов декомпозиции объекта проектирования на подобъекты);

выбор модели *Str – FnMo* (*O*), наилучшей в смысле возможности построения соответствующей *Str – FnMi*(*O*) объекта данной ЗП с учетом особенностей условий реализации задачи, КС и ограничений;

построение *Str – FnMi* (*O*) проектируемого объекта – параметризация, интерпретация *Str – FnMo* (*O*), наилучшая в смысле условий данной ЗП.

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 (преемственности) на соподчиненных уровнях сущности проектируемого объекта.

Важно отметить тот факт, что в общем случае на разных стадиях решения каждой конкретной ЗП могут использоваться разные 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.

Таким образом, решение проблемы преобразования представлений и описаний требует решения следующих вопросов:

1. Выбор основных элементов представления в исходной системе (интерпретация реальных элементов и состояний, ограничений и преобразований по заданному полному описанию).
2. Поиск полезных свойств объекта, уменьшающих размерность задачи или выделяющих в нем характерные компоненты (декомпозиция – сведение больших задач к решению более простых в том или ином смысле задач).
3. Использование опыта исследования задач для разработки эффективных компактных алгоритмов.

Таким образом, в контексте проблем создания теории необходимо разработать обобщенную модель СС и ее подсистем, которая позволила бы при технологическом анализе расчленить эту систему, подсистему или

устройство на несколько относительно независимых модулей, а затем объединить их в процессе синтеза технологического процесса на базе единой обобщенной модели процессов соединений, сборки и испытаний СС.

## 2.5 Основы теории представлений компонент сложных систем

Концепция гибких технологических комплексов (ГТК) поставила вопрос о слиянии в единый, взаимосвязанный комплекс различных этапов производства: проектирования объектов этого производства, синтеза технологических процессов их изготовления, автоматизированную технологическую подготовку производства объектов, различные стадии собственно изготовления, контроля и испытаний. В настоящее время эта задача не решена, прежде всего, из-за отсутствия единой теории представлений для целей ГТК.

В производстве СС авиационных предприятий: во-первых, отсутствует достаточно серьезная теоретическая проработка проблем этого производства; во-вторых, при решении вопросов автоматизации все сводится к постановке и реализации лишь частных задач без учета особенности структуры каждого этапа производства и взаимодействии этих этапов, без чего невозможно построение законченной и последовательной технологии этого производства. На современном летательном аппарате известно достаточно большое количество различных элементов и устройств, объединенных в различного назначения бортовые подсистемы и системы, которые характеризуются, с одной стороны, сравнительно небольшим перечнем используемых элементов и материалов, с другой – практически неограниченным разнообразием конструкторских и технологических решений при их реализации, и в-третьих, – значительной сложностью процессов их изготовления. По установившимся сейчас представлениям в любую СС входят: готовые изделия, детали и сборки из них.

Опыт показал, что объединение элементов СС в бортовые устройства осуществляется с помощью монтажа.

Электрические соединения являются основным видом монтажа при выполнении объединения элементов функциональных модулей бортовых устройств.

Опыт также показал, что все многообразие СС на любом этапе их создания связано с определенными преобразованиями элементов конечных множеств, природа которых, в нашем случае, существенна и всегда определена физическими реальностями.

Таковы основные опытные данные, характеризующие СС и технологию их производства.

Практика ставит перед теорией следующие кардинальные вопросы:

1. Как систематизировать все разнообразие СС? Есть ли способ единой систематизации этих объектов?
2. Каков метод общетеоретического представления СС?
3. Каков метод теоретического представления главной структуры СС?
4. Как формально описать процессы формирования главной структуры СС?
5. Каков метод теоретического понижения размерности решаемых задач анализа СС и синтеза процессов формирования главной структуры этих объектов?

Общепринятой теории представлений и преобразований в настоящий период нет, и, следовательно, нет полных и согласованных ответов на перечисленные вопросы. На некоторые из них до последних лет не было вообще никакого ответа.

Таковы трудности и в собственной теории представлений и преобразований СС. Эти трудности мешают развитию автоматизации технологической подготовки производства и технологических процессов изготовления СС, созданию ГТК.

Задачи изготовления СС многообразны и сложны.

Как указывалось выше, технология изготовления СС и испытаний их не имеет достаточной теоретической базы. Этому имеется по крайней мере две причины: во-первых, отставание научного уровня технологии объясняется исключительной сложностью получения формализованного описания технологических процессов; во-вторых, поскольку оптимизационные задачи в технологии включают большое количество искомых взаимосвязанных параметров, то количество переменных, рассматриваемых при анализе технологических процессов настолько велико, что уравнения, связывающие их, трудно разрешимы аналитическими методами.

В представленной автором теории первое из этих затруднений снимается геометрическим представлением физических проблем технологии. Второе до некоторой степени снимается тензорной методологией, которая тесно связана с именем Г.Крона, понятия тензора преобразования, группового свойства, инвариантности позволяют произвести физическое и аналитическое разделение группы проблем технологии в последовательность более простых проблем и их объединения в исходную группу.

*Постановка проблем теории.* В основе единой теории представлений СС и операций над ними лежит представление о том, как исходный набор компонент – их преобразования образуют триединство – СС.

Единая теория технологии производства СС выделяет в технологии ее основное назначение: преобразовывать исходные материалы, элементы, готовые изделия в объекты специального оборудования, отвечающие определенным критериям.

В процессе изготовления СС применяются преобразования нескольких типов, связанных с заготовительными, физико-химическими, сборочными, контрольно-испытательными операциями. Однако основу процессов изготовления СС составляют процессы структурообразования и лежащие в их основе операции монтажа. Поэтому выделим только те преобразования,

которые приводят к созданию главной структуры объекта, т.е. существенные преобразования. При этом под существенными преобразованиями при изготовлении СС будем понимать изменения, происходящие с материалом и компонентами СС посредством реализации операций монтажа, соединяющих определенные элементы, и готовые изделия.

Другим важным моментом технологии производства СС является контроль и испытания готовых объектов. Совершенствование методов контроля за ходом технологических процессов, за качеством готовой продукции авиационных предприятий становится определяющим в обеспечении эффективного управления качеством изделий авиационной, ракетно-космической техники и других отраслей промышленности.

Каждое из описанных выше преобразований имеет свою ярко выраженную специфику, поэтому при формализации этих преобразований, а именно этому посвящена рассматриваемая здесь теория, очень важно получить формулировку всех задач в рамках единого универсального языка, на котором все процессы изготовления, контроля и испытаний СС интерпретируются и представляются на общей основе.

Такую интерпретацию технических задач производства СС дает геометрия, вернее многообразие геометрий. Геометрическая формулировка проблем технологии позволяет представить геометрически все физические понятия и процессы, которые используются для описания различных этапов производства СС.

Переход от технологической проблемы к геометрической интерпретации осуществляется введением гипотетического пространства, системы координат, а также точных геометрических эквивалентов физическим понятиям и процессам.

Рассмотрим вначале проблему, которая связана с физической реальностью – формированием структуры объекта. Введем исходные

понятия, которые являются общими для описания любого объекта СС, на базе геометрических представлений.

Любой объект СС может быть представлен набором нуль-, одно-, двух- и трехмерных структур, взаимосвязанных определенным образом. Главной структурой объекта является набор взаимосвязанных определенным образом одно- и нульмерных структур, называемых сетью. Одно- и нульмерные структуры сети объекта представляют компоненты СС. Термином компоненты будем пользоваться для обозначения структурных элементов СС, которые геометрически могут быть представлены как набор одномерных пространств. Узлы связей геометрически могут быть представлены множеством нульмерных или двумерным пространством. Узел связей двух одномерных пространств одной и той же компоненты может быть также представлен одномерным пространством.

Таким образом, главную структуру СС можно геометрически представить как совокупность n-одномерных и m-нульмерных пространств, соединенных определенным образом с помощью специальных устройств, реализуемых технологические процессы монтажа, которые с геометрической точки зрения можно рассматривать как одномерные или двумерные пространства, а два их конца – как одномерные пространства (граница).

Теперь перейдем к исходным понятиям формирования главной структуры СС, т.е. понятиям, описывающим основные процессы производства СС. Эти процессы следует разделить на процессы, описывающие:

1. Формирование собственно элементов СС, т.е геометрических элементов СС;

2. Получение соединений этих элементов в конкретные конфигурации.

В целом проблема производства СС может быть сформулирована как проблема получения такой геометрической структуры, которая реагирует определенным образом на приложенные нагрузки.

Геометрическая интерпретация всех проблем выглядит следующим образом. Дан набор трех-, двух-, одно- и нульмерных пространств, который необходимо связать друг с другом определенным образом и на выделенный набор нуль- и одномерных пространств наложить определенные типы конфигураций.

Таким образом, с геометрической точки зрения основные процессы производства СС формализуются следующим образом.

Введена система координат на заданной структуре объекта, в которой каждая геометрическая конфигурация выражена уравнением. Процессы изготовления, контроля и испытаний объекта состоят в наложении на заданную в системе координат структуру (совокупность пространств) геометрических конфигураций различной размерности, а именно: одномерных геометрических конфигураций, формирующих сеть, и дополнительных геометрических конфигураций, накладываемых на одномерную геометрическую конфигурацию, для контроля свойств этого объекта. Дополнительные геометрические конфигурации будем называть цепями; при этом их размерность выше размерности, подлежащей геометрической конфигурации (одномерной), так как в них рассматриваются конструктивные константы. Наложение цепей на геометрическую конфигурацию свяжем с наложением электрических воздействий.

Очевидно, что совместное рассмотрение всех проблем технологии производства СС, охватывающих широкую область инженера-технолога – от формирования собственно структуры объекта до исследования его поведения, требует такого аналитического аппарата, использование которого позволило бы решать задачи, перечисленные выше, для всего разнообразия этих объектов.

Исходя из этих требований и специфики производства СС, в центре внимания оказался аналитический аппарат алгебраической (комбинаторной) топологии с использованием тензорной символики.

Комбинаторная топология позволяет провести исследование n-мерных пространств, ограниченных в разных направлениях пространствами меньшей размерности, а тензорная методология (т.е. использование «системы координат», «преобразования», «инварианта» и «группы»), являясь мощным аналитическим средством в изучении инвариантных свойств объектов при изменении системы координат, позволяет установить общую точку зрения на все разнообразие структур объектов СС, комбинировать созданными тензорами и преобразовывать их в новые необходимые тензоры, с помощью которых формируется структура объекта как целого.

Введем основную гипотезу теории представлений СС. Итак, выше сформулирована вербальная геометрическая постановка задач технологии изготовления, контроля и испытаний объектов СС, определена база единого подхода к этим задачам как преобразованию систем координат с инвариантом.

В общем виде любую СС можно представить состоящими из многих элементов, соединенных друг с другом с помощью специальных технологических процессов, в частности различными видами монтажа. Формирование главной структуры этих СС, называют сетью, является целью разрабатываемой здесь теории. При этом сети рассматриваются как набор из СС, состоящих лишь из соединенных различным образом нульмерных (узлов) и одномерных (элементарных связей) компонент.

Конкретные сети из СС различных типов фундаментально подобны, так как все абстрактные свойства этих сетей описываются в рамках теории прямого или обратного несингулярного тензора преобразования $C_{\alpha}^{\alpha'}$ или $C_{\alpha}^{\alpha'}$.

Фундаментальная подобность сетей СС позволяет высказать предположение о существовании математического и физического подобия в технологии создания этих СС , а точнее в технологии их изготовления, контроля и испытаний.

Для построения единой теории представлений СС, описывающей многообразные преобразования этих объектов или систем из них на различных этапах их изготовления, необходимо прежде всего поставить определенные для каждого этапа задачи и цели.

При этом понятия задачи и цели технологии изготовления, контроля и испытаний определим следующим образом.

Задачей технологии будем называть указание любым способом результата, который должен получиться вследствие реализации технологической операции процесса в целом.

Одна из проблем создания теории представлений СС заключается в том, что необходимо разработать единый способ представления и описания физических, конструкторско-технологических задач производства этих СС. При этом задача должна быть поставлена таким образом, чтобы ее можно было использовать на всех этапах проектирования технологических операций и процессов и их реализации, т.е. должна быть достаточно формализована. Целью технологии, или, конкретнее, технологического процесса будем называть указание таких свойств этого процесса, например последовательности технологических операций при изготовлении, которые, будучи достигнуты, гарантируют решение задачи технологию Описание цели конкретного технологического процесса должно быть сформулировано на математическом языке и при этом в удобной для дальнейшего использования форме.

Математическая формулировка задач и целей технологии изготовления, контроля и испытаний СС обеспечивается следующей гипотезой.

Любой технологический процесс изготовления, контроля и испытаний СС есть процесс преобразования исходного пространства этих СС в пространство, заданное конкретной задачей, который может быть представлен тензорным уравнением преобразования, описывающим

изменения не только систем координат, но и пространства-структуры, в которое вложены системы координат.

Пока исследования показали, что не существует противоречащих примеров. Тем не менее гипотеза принципиально не может быть доказана и, следовательно, появление противоречащих примеров не исключено. Из этого следует, что класс объектов и систем, для которых гипотеза оправдывается, не пуст, а включает все существующие и проектируемые на базе основных законов СС.

Уравнения, которыми определяется цель технологического процесса, описывают физическое и аналитическое разделение технологического процесса в последовательность отдельных технологических операций. Число уравнений ограничено числом нульмерных компонент, участвующих в образовании сети СС при их соединении или числом ветвей, на которые СС могут быть разделены.

Остановимся более подробно на физических и математических основах теории представлений. Целью предлагаемой теории является формулировка накопленных знаний в области технологии производства СС в терминах фундаментальных инвариантных понятий, используемых в технологии и математике. На этой базе, с одной стороны, необходимо достичь глубокого понимания между теоретиками, конструкторами и технологами, с другой – открыть каналы новых исследований как в области проектирования оптимальных СС, так и в области технологии производства этих объектов и систем, следуя возможно ближе путем развития фундаментальных наук. Тщательное изучение и математическое описание процессов проектирования и технологических процессов также необходимы для успешного развития автоматизации производства.

Многообразие СС, включающих многочисленные элементы и соединения между ними, разнообразие технологических процессов их производства, характеризуемых специфическими операциями подготовки и

соединения и контрольно-испытательных операций, породили трудности, связанные с созданием единого языка описания как СС, так и процессов их изготовления.

Узловой проблемой в разрешении этих трудностей является проблема ввода универсального языка, на котором бы все задачи и решения интерпретировались и представлялись на общей основе. Таким языком является язык геометрии, который может быть контекстно связан с прикладными теориями, в том числе и с теорией представлений СС. Связь языка геометрии с проблемами инженерного проектирования показана в исследованиях, выполненных Г.Кроном, Японской ассоциацией прикладной геометрии.

В общем случае любая СС может быть представлена сетью для передачи воздействия, т.е. технической структурой, состоящей из элементов, выполненных из проводников, соединяющих элементы этой структуры.
Основные идеи теории представлений СС, которая дает представление о том, как пространство - преобразования - компоненты образуют триединство – объект СС, т.е. некоторую сеть, могут быть сформулированы следующим образом.

Все многообразие СС рассматривается, с одной стороны, как сложные геометрические фигуры, определенные внешние свойства которых описываются чертежами и которые оказывают существенное влияние на технологию их производства, с другой – как набор компонент. В евклидовом пространстве $R^3$ СС как сложная геометрическая фигура может быть представлено объединением очень простых элементарных фигур – симплексов, т.е. симплициальным (геометрическим) комплексом. Такое представление СС позволяет использовать для изучения их геометрических свойств хорошо развитые методы теории гомологий .

Если СС рассматривается как целое, а в этом целом выделяются части, то условимся говорить о частях, как о компонентах СС. Непроизводные

элементы и связи, используемые для построения главной структуры СС его сети, будем называть компонентами. Компоненты – это некоторые стандартные элементы, сборки СС. Они обладают определенными свойствами, среди которых будем выделять два типа: признаки и узлы, т.е. точки или поверхности возможных соединений между компонентами. Разложение СС на составляющие его стандартные элементы будет трактоваться как представление СС в частной системе координат некоторого пространства. Введем это пространство, состоящее из отдельных точек, линий, поверхностей, каждая из которых представляет одну из компонент СС, а их последовательности будем рассматривать как одно из значений характеристик СС. Это пространство назовем опорным и дадим следующее определение.

Определение 1. Если изделия СС являются элементами опорного пространства, то они называются компонентами.

Компонента поэтому в опорном пространстве (макропредставление) представляется как бесструктурное образование. Для организации множества компонент СС введем идентификатор или имя компоненты для того, чтобы различать используемые в них компоненты. Компоненты СС задают измерения опорного пространства, а их вид в этом пространстве – значение координаты вдоль данного измерения. Систему координат опорного пространства, задаваемую компонентами, можно выбрать конечным числом способов, в отличие от изотропного геометрического пространства. Введенные понятия идентификации, опорного пространства, системы координат позволяют организовать множество компонент в n-матрицу. При этом цель такой организации компонент в n-матрицу состоит в том, чтобы ввести правила действия с n-матрицами, а именно, их сложение, умножение и другие действия, которые позволяли бы изменять представление компонент от задачи к задаче.

Представление СС в виде сложной геометрической фигуры и опорного пространства с компонентами еще недостаточно для аналитического изучения их главной структуры. Для анализа структуры СС необходимо прежде всего выяснить и описать структуру каждой из множества всех компонент, составляющих структуру СС. Структуры компонент «видны» только в их собственных координатах. Следовательно, для того чтобы рассматривать СС с позиций компонент его составляющих, необходимо описать внешние свойства этих компонент как геометрических фигур, не изменяя методологии описания принятого для СС в целом, а для изменения представления СС через структуры его компонент введем свободное пространство, в котором компоненты обладают внутренней структурой, т.е. представляются состоящими из более мелких – элементарных координат. Для более четкого определения свободного пространства и его назначения дадим ряд понятий и определений. Рассмотрим, прежде всего, более подробно свойства компонент.

Первое из свойств – признаки. Каждая компонента обладает самыми различными признаками. Так все элементы СС сходны друг с другом в том. что они могут быть компонентой для соединения в структуре СС. Но вместе с тем элементы различаются друг от друга другими признаками: они могут содержать различные параметры, характеризующие поверхности для соединения. Одной из составляющих признака служит индекс класса компонент.

Второе из свойств охватывает узлы компоненты. Определенной компоненте k соответствует определенная характеристика n(k), которая может быть выражена неотрицательным целым числом. Величина n(k) указывает максимальное число узлов, связывающих данную компоненту с остальными

Так как некоторая компонента может входить в одно и то же СС более одного раза, то для этого случая каждая компонента различается при помощи идентифицирующих меток, вводимых в признак в качестве составляющих.

В теории представлений СС одной из общих характеристик СС является ее сеть – структурное объединение стандартных элементов. Сеть конкретной СС определяется составом и структурой. Две СС считаются идентичными только в том случае, если их сети, т.е. их составы и их структуры совпадают. Для характеристики сети СС введем термин «количественная сложность» сети $\Delta$, принадлежащей заданному множеству регулярных или допустимых сетей, имея в виду число компонент, входящих в сеть $\Delta$.

Состав реальной сети СС будем определять как

$$\Delta = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}, \qquad (2.1)$$

где правая часть представляет собой просто некоторое множество, не имеющее структуры.

Структура сети СС представляет собой множество $\beta$ соединений, существующих между всеми или некоторыми узлами компонент, входящих в ее состав. Множество $\beta$ будет задаваться с помощью несингулярной матрицы соединений, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединений в определенных парах узлов компонент.

Следует особо отметить, что в предлагаемой теории рассматриваются не все возможные множества соединений $\beta$, а лишь допустимые, которые обозначим через $\sigma$, т.е. сеть СС образуется применением $\sigma$-операций, под которыми будем понимать наложение на совокупности узлов компонент, образующих свободное пространство геометрических конфигураций, называемых цепями. Для того чтобы осуществить $\sigma$-операции, необходимо ввести пространство, которое бы сравнительно легко описывало любую СС, т.е. которое позволяло бы выделить из многообразия СС частную СС и связанную с ним систему координат. Таким универсальным пространством является свободное пространство. Свободное означает, что все $\beta \in \sigma$ – пустые.

В этом случае СС не имеет структуры, т.е. никакие соединения не заданы и СС, представленное в свободном пространстве (и связанная с ним система координат) используется как начальная, как простейшая сеть, в которой никакие соединения не устанавливаются, т.е. СС не имеет структуры, а сети такого вида, представляющие СС в свободном пространстве, будем называть свободными.

Причина того, что мы вообще затрагиваем неструктурированный случай, заключается в том, что в этом и только в этом пространстве можно описать конечные множества узлов компонент, принадлежащие частной СС. Поскольку свободные сети – это просто множества, то для обозначения состава узлов частной СС естественно воспользоваться знаком $\cup$ (объединение) с той оговоркой, что две одинаковых компоненты можно различать с помощью дополнительных меток в соответствующих контекстах. Использование свободной сети СС в качестве стартовой точки синтеза их сетей диктуется соображениями удобства, так как во всех случаях синтеза сетей любых СС требуют применения одних и тех же процедур для каждого новой СС.

Введенные выше опорное и свободное пространство очень сильно отличаются от пространства–структуры СС и позволяют «увидеть» лишь часть деталей их структуры. Чем больше деталей СС должно быть рассмотрено, тем более сложную структуру представляет пространство, их представляющее. Оказывается для того, чтобы представить связи СС, предусмотренные $\sigma$, необходимо ввести пространство, размерность которого определяется числом цепей. При этом каждая из цепей может быть описана одномерными симплексами. Связи, участвующие в соединениях как компонент (внутренние связи), так и между узлами различных компонент (внешние связи), будут описываться n-матрицами.

Таким образом, для полного описания состава и структуры СС необходимо и достаточно описать их в трех дополнительных (в

математическом смысле) подпространствах: первом – макропространстве; втором – подпространстве компонент, содержащих узловую структуру компонент; третьем – подпространстве цепей, содержащих структуру соединений σ. Таковы основные идеи.

Основы теории СС можно записать с помощью следующего математического формализма.

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

$$N = S_q \cup M_q;\ S_q \cap M_q = \varnothing;\ q = 1, 2, 3, \qquad (2.2)$$

где $S_q$ – подмножество, дополнительное к $M_q$..

Индекс q имеет следующий смысл. Описание этого 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 СС состоит из конечного множества дискретно расположенных компонент, каждая из которых представляет собой реальный элемент этой СС, обладающий конкретными специфическими свойствами. Описание этих специфических физических свойств каждой, входящей в СС компоненты, требует ввода подпространства компонент, которое является дополнительным к подпространствам как $S_1$, так и $M_1$. 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 СС рассматривается единое под-простанство компонент – свободное пространство СС.

Сходное положение наблюдается с описанием в третьем подпространстве с той существенной разницей, что в нем рассматриваются не только компоненты СС, а единое пространство цепей, в котором соединение узлов компонент – структура – задает само пространство цепей, размерность которого определяется числом линейно-независимых путей распространения в этой структуре усилий. Таким образом, каждое из континуальных подпространств $S_q$ и дискретных $M_q$ заполняет все пространство N, но в областях, принадлежащих дополнительным пространствам, рассматривается только аналитическое продолжение данного пространства. Следовательно, принцип «дополнительности» отображен рядами дополнительных одна к другой величин, характеризующих СС в различных подпространствах. Каждый ряд физических величин, имеющих один и тот же смысл, выражен n-матрицей, а путь для передачи усилий в геометрическом (топологическом) смысле представляет собой кривую, составленную из некоторого числа симплексов.

Одновременное рассмотрение всех характеризующих СС величин, возможно лишь очень большим числом n-матриц. Организация этих величин в n-матрицы позволяет вводить новые и дополнительные понятия теории представлений СС, само существование которых определяется этой организацией. С помощью n-матриц устанавливаются, систематическим образом, соотношения между известными величинами, удовлетворяющие некоторому критерию и обеспечивающие требуемое поведение СС. Полученные таким образом уравнения связи этих величин отражают наличие трех взаимосвязанных понятий, составляющих основу современного физического и математического анализа и, как следствие, предлагаемой здесь теории представлений СС. Эти понятия: преобразование, группа, инвариантность. Введение и использование этих понятий составляет основу тензорного анализа.

Суть применения топологии и тензорного анализа сетей в теории представлений СС заключается в следующем. Все различные ИССМ рассматриваются как проекции обобщенных СС 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 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 пространства в задачах изготовления СС, 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 СС.

Введем в теорию представлений основные математические объекты и соотношения, устанавливаемые между ними для решения теоретических и практических задач этой теорию Предложенная выше методика представления СС 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 – стропы или ветви, готовые изделия, соединенные тем или иным способом. Это пространство, с одной стороны дискретно, поскольку оно существует только вдоль выделенных элементов – геометрических линий, помещенных в обычное геометрическое пространство. Геометрические линии (стропы) и последовательности линий образуют в этом пространстве пути (цепи из строп), по которым распространяются усилия и потоки механических нагрузок. Тогда, с точки

зрения геометрии, объектами этого пространства, его линиями, состоящими из точек, являются пути.

В теории представлений для решения таких вопросов, как, например, сколько и каких связных компонент содержит СС, чтобы выбрать базис пространства СС и с его помощью систему координат, а также рассматривать другие вопросы, связанные со структурами, состоящими из соединенных элементов, будем пользоваться методами комбинаторной топологии, методами теории гомологий .

В связи с этим введем топологические эквиваленты понятий, связанных со структурами СС. Для изучения геометрических свойств СС будем рассматривать их как объединение очень простых элементарных фигур – симплексов. При этом узлам – монтажным точкам СС 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

$$C^1 = a_1 S_1^1 + a_2 S_2^1 + \ldots + a_\alpha S_\alpha^1, \qquad (2.3)$$

где $S_1^1, S_2^1, \ldots, S_\alpha^1$ – одномерные ориентированные симплексы:

$a_1, a_2, \ldots, a_\alpha$ – целые числа, связанные с конкретными компонентами.

Последовательности (2.3) представляет собой линейную комбинацию переменных $S_1^1, S_2^1, \ldots, S_\alpha^1$ с коэффициентами $a_1$ , $a_2$ ,…, $a_\alpha$. Умножение симплекса на – 1 означает изменение его ориентации, т.е. $-1[\alpha_0, \alpha_1] = [\alpha_1, \alpha_0]$. Следует заметить, что выражение (2.3) представляет собой коммутативную (абелеву) группу.

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

$$\partial S = \alpha_1 - \alpha_0, \qquad (2.4)$$

а граница последовательности (2.3) определяется формулой

$$\partial C^1 = \sum_{i=1}^{i=\alpha} a_i \partial S_i^1 . \qquad (2.5)$$

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

$$R^* = \sum_{r_i \in R} r_i \qquad (2.6)$$

дадим определение цепи через топологические понятия.

Если для подмножества R элементов топологической системы F ссправедливы условия

$$\partial R^* = \alpha_i - \alpha_j ; \; \partial r_i = 0 ,$$

$$\text{где } R^* = \sum_{r_i \in R} r_i , \; \alpha_i \in \alpha_\ell R , \; \alpha_j \in \alpha_p R$$

и где $\alpha_\ell R$ 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 $\alpha_i$ и $\alpha_j$.

Выше было показано, что наиболее общим представлением главной структуры СС является сеть. Топологическим эквивалентом сети СС является комплекс (K), т.е. совокупность одномерных симплексов, обладающая определенными свойствами. Другим топологическим определением сети ИССМ будет следующее:

Множество цепей с произвольными целыми коэффициентами $\alpha_\alpha$ представляет любого СС и составляет группу цепей по сложению

$$C^1(K) = \sum_{\nu} \{ \sum_{k=1}^{\alpha} a_k S_k^1 \} . \qquad (2.7)$$

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

$$A = \langle S, f \rangle \tag{2.8}$$

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:

$$f : S \to z. \tag{2.9}$$

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

$$f(S_i) = z_i , \tag{2.10}$$

т.е. каждому симплексу соответствуют различные числа $z_i$.

Топологический эквивалент СС, для которой определена описывающая функция f, при решении практических задач анализа этих СС будем называть детерминированным графом или просто графом СС.

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 СС позволяет решить ряд

очень сложных задач. Так, например, замена сети СС математическим понятием «граф» позволяет решить ряд теоретических и практических задач: конфигурация сети, представляемая графом, дает математическое понятие числа суммируемых элементов, которое связывают с «размерностью линейного пространства», т.е. «базисом» или «рангом» линейного пространства; использование графа позволяет выполнить разбиение СС на модули (сильно связные, т.е. сложные компоненты) и другие.

Однако существует ряд свойств сетей, которые отличаются от свойств математического графа. Рассматривая СС с позиций сетей было установлено, что сеть любой СС состоит из набора соединенных ветвей. Было также установлено, что одни СС отличаются от других количеством и способом соединения компонентов, которые практически есть в любом из рассматриваемого множества СС различных типов.

Известно. что с такими сетями связано два понятия – это текущие усилия в ее элементах и нагрузки на узловых парах. С помощью электрической модели усилий (ток) и нагрузки (напряжения), т.е. с помощью первого и второго закона Кирхгофа можно установить несингулярный прямой и обратный тензоры преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$ и $C^{\alpha'}_{\alpha}$ для этой сети, в которых заложены все абстрактные свойства сети СС.

## 2.6 Основы теории технологии изготовления сложных систем

Анализируя производство неметаллов авиационных предприятий было зафиксировано, что основную роль в создании СС играют процессы соединения, т.е. выполнения соединений между компонентами этих СС и контрольно-испытательные операции, при которых основными является операции контроля и испытаний соединений СС.

Производство СС во многом заключается в соединении компонент некоторой СС, обеспечивающих достижение заданного результата, цели.

Основным же результатом является структура СС из соединенных ветвей сети, в которой можно выделить цепи, объединяющие в своих понятиях структуру и протекающие в структуре процессы.

Итак, отметим общие черты, т.е. общее, присущее всем СС: во-первых, во всех этих СС происходят процессы, описываемые законами теоретической эдектротехники; во-вторых, все СС состоят из ограниченного количества однотипных компонент, более простых чем сама СС, в которых в полном объеме происходят процессы, идентичные процессам в этих СС; в третьих, так как СС состоит из многих компонент, соединенных друг с другом, а соединения, связи различны по сложности, количеству, то можно сделать вывод о том, что процессы соединения образуют структуру СС. Наличие аналогий, позволяющих сравнивать различные СС, говорит об их сходстве и различии, делает логичным предположение, что существует некоторый абстрактный объект, единый для всех типов СС, т.е. из всего многообразия этих СС может быть выделен обобщенный объект.

Такие рассуждения, построенные сознательно, привели нас к технологии применения тензорного метода для формализации свойств сетей СС в теории представлений этих СС.

Используя по аналогии идею тензорного подхода, которая для СС заключается в том, что, во-первых, вводится дискретное пространство, в котором рассматриваются сети этих СС, отличающиеся от топологического пространства, используемого выше для их геометрического представления, а их системы координат определяются способом соединения их компонент; во-вторых, выбирается в качестве эталона некоторый абстрактный объект, единый для всех типов СС, а описания всего множества конкретных СС будут выражаться в терминах эталона, естественно, основными требованиями к абстрактному объекту являются: наличие разработанной теории, в которой он определяется обобщенно набором компонент, а все соединенные из них структуры рассматриваются как его проекции в разных

системах координат, тогда вся совокупность проекций абстрактного (обобщенного) объекта в допустимые системы координат образуют понятие группы, а правила перехода от записи объекта в частной (эталонной) системе координат к записи в другой (определяющей конкретный объект или систему) – понятие преобразования.

Чисто интуитивное толкование вышеприведенных понятий, составляющих основу теории представлений СС, построенной на тензорном подходе, может привести к недоразумению и противоречиям. Поэтому необходимо сформулировать строгие общие определения основных понятий, которые легли бы в основу тензорного метода этой теории.

Аналогично другим физическим теориям целесообразно создать абстрактную теорию представлений СС, которой впоследствии можно дать определенную физическую и геометрическую интерпретацию, причем в физической интерпретации выделить понятия: «обобщенный» объект, «конкретный» объект, «преобразование», «множество действий» (соединения), которые являются элементами группы преобразований, и показать применимость групповых аксиом к ним, «инвариант».

Одной из форм оценки эффективности технологии, т.е. совокупности действий по изменению и последующему определению состояния СС в пространстве состояний, в универсальном смысле является точность, понимаемая как воспроизведение конкретных СС по их эталону.

Как известно, основой для изготовления СС служит детальная практическая модель – проект СС, включающий полный набор технической документации и технических требований, соблюдения которых и технологический контроль являются лучшими методами обеспечения точности и надежности, чем данные математической обработки результатов испытаний с моделированием максимальных эксплуатационных нагрузок. Точность изготовления экземпляра СС – это степень совпадения конкретной СС с проектом, согласно которому оно изготовлялось. При этом речь идет о

совпадении вполне определенных признаков. Для того чтобы ответить на поставленные выше вопросы, т.е. какие же признаки будут использованы для этапов изготовления, контроля и испытаний СС, рассмотрим эти СС в некоторой абстракции.

Охарактеризуем СС некоторой упорядоченной совокупностью множеств, которые будем называть проектными параметрами. Элементами этих множеств являются значения проектных параметров. Пусть СС $A$ представляет собой совокупность k множеств, т.е. описывается с помощью k проектных параметров X.

Тогда в общем виде ИССМ могут быть записаны следующим образом:

$$A = \sum_{i=1}^{k} X_i \text{ , где } i = 1, 2, 3, \ldots, k. \qquad (2.11)$$

Рассмотрим кратко этапы создания СС, выделив в них этап проектирования и этап изготовления.

В самом общем виде этап разработки проекта СС, т.е. проектирования, связан с выбором конструктором каждый раз из некоторых множеств проектных переменных определенных значений проектных параметров. Для этого проводятся расчеты, по результатам которых определяются номинальные значения проектных параметров, а затем выбираются диапазоны для каждого из номинальных значений и элементная база реализации.

В результате проектирования разрабатывается детальная практическая модель СС, которую можно записать следующим образом:

$$F_A = \{X_1, X_2, \ldots, X_k\}. \qquad (2.12)$$

Детальную практическую модель, т.е. полный набор конструкторской документации на СС, на основе которой изготавливаются отдельные их экземпляры, будем называть «конкретным» СС.

Разработка теории представлений на базе континуально-дискретного представления СС требует различных уровней их формализации,

представление их континуальной части на основе комбинаторной топологии для нужд рассматриваемой теории представлено выше достаточно подробно.

Для реализации этого подхода введем и дадим достаточно точные определения обобщенных СС.

Определение 2. Обобщенный объект – совокупность отдельных компонент без какого-либо их соединения.

Определение 3. Обобщенная система – совокупность отдельных объектов (сетей) без какого-либо их соединения.

При этом для введенных объектов и систем (и связанных с ними систем координат) необходимо выполнение следующих условий:

– все компоненты всех геометрических объектов либо известны, либо могут быть сравнительно легко определены;

– уравнения поведения в терминах геометрических объектов (тока I, разности потенциалов u, сопротивления R или проводимости Y для электрической модели СС) известны;

– сравнительно легко установить различные тензоры преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$, показывающие, чем обобщенные объект или система (и связанная с ними система координат) отличается от их конкретных представлений (и связанной с ними системы координат);

– сравнительно легко удается вычислить, если в этом есть необходимость, компоненты геометрических объектов.

Отметим особо, что единый подход к формированию обобщенных объекта или системы сохраняет основные черты конкретных СС, так как учитывает количество и тип компонент СС или количество и тип СС.

Общая особенность всех конкретных СС заключается в возможности их интерпретации совокупностью несоединенных компонент (обобщенный объект) и матрицей преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$, которая показывает все соединения между компонентами этих СС. При этом в последующей теории основную роль будут играть такие компоненты или СС, которые можно представить в

виде одного или нескольких чисел или функций. Эти числа или функции назовем деталями компоненты СС или компонентами СС. Так как при решении конструкторско-технологических задач производятся действия с большим числом компонент СС и их деталей, т.е. с большим набором чисел и функций, введем следующие организационные мероприятия:

1. Одним символом будем представлять не одну величину (число или функцию), а целое множество величин, имеющих один и тот же физический смысл, например, символ А может представлять все компоненты СС или все токи и т.п. Тогда единственный символ может представлять следующие организованные множества либо k величин, организованных в строку - одномерное множество, либо $k^2$ величин, организованных в квадрат – двухмерное множество, либо $k^3$ величин, организованных в куб – трехмерное множество, либо в общем случае эти множества будем называть n-мерными множествами. Зададим на этих множествах для решения широкого круга инженерных задач конкретный вид действий, которые будут введены ниже, тогда n-множество будет называться n-матрицей. Для выполнения над деталями и компонентами различных математических операций в теории представлений СС будет использовано индексное обозначение .

2. Задачи изготовления, контроля и испытаний СС вообще и задачи анализа СС в частности сильно усложнились из-за большого количество компонент и связей между ними. Одной из проблем, которая возникла при этом, является проблема упрощения. В последующей теории для решения этой проблемы вводится стандартная процедура, с помощью которой на этапах описания СС исключаются из рассмотрения действительные значения физических величин (длина строп, нагрузки, усилия и т.п.), так как они не играют решающей роли в решаемых задачах. Это мероприятие позволяет для единого описания всего многообразия СС использовать лишь символы бинарного алфавита {0, 1} в том смысле, что, например, наличие связи между двумя узлами соединения, которая может быть выполнена стропой

(проводником) различной длины, можно обозначить единицей, наличие усилия (тока) в цепи или разности нагрузок (потенциалов) между двумя узлами цепи также могут быть обозначены единицей и т.д.

«Опосредствование» отображает особенности определения и реального существования СС, взятых не сами по себе, а через раскрытие их отношений обязательно к чему-то другому. Тогда опосредствованными взаимодействиями, отношениями, структурами будем считать те, которые формируются на основе влияния со стороны внешних условий.

Нам предстоит рассматривать единство этих категорий, учитывая их различия и отдавая ведущую роль то одной, то другой категории, т.е. как бы сосредоточиваясь на одном из полюсов, а затем переходя к другому. Например, результаты таких сложно опосредствованных процессов, как разработка технологических процессов изготовления, контроля и испытаний СС на базе конкретных конструкций этих СС овеществлены на рабочем месте исполнителя отдельных технологических операций, где ведущую роль играют непосредственные взаимодействия, связи, вообще – отношения.

В соответствии с введенными категориями выделим два типа преобразований:

1. Сложно опосредствованные, связанные с преобразованием информации, в результате которых создаются информационные структуры или системы информации;

2. Непосредственные, связанные с физико-химическими преобразованиями исходных материалов в готовые СС.

Системы информации возникают в результате изучения непосредственных структур СС, которые служат носителями первичной информации, переработки и дополнения воспринимаемых от них связей и соотношений на основе включения в рассмотрение других объектов, научно-технических материалов и т.п. Это сложные процессы, включающие

моделирование отношений, сущности, процессы взаимодействия, структуры других СС.

Для использования тензорной методологии, индексных обозначений в теории представлений СС , для представления обобщенных компонент СС введем фундаментальный математический объект – символ Кронекера:

$$0 = \delta_{ik} = \begin{cases} 1 \quad \text{при} \quad i \neq k \\ i,k = 1, 2, ..., n \\ 0 \quad \text{при} \quad i \neq k \end{cases} \qquad (2.13)$$

и фиксированные индексы, задающие все оси частной системы координат, в которой определено значение всех компонент обобщенных объектов или системы, и которые закрепляются по сторонам введенной двухмерной матрицы $\delta_{ik}$ у каждых ее строки и столбца.

Итак, подводя итого вышеприведенных рассуждений, укажем, что, во-первых, обобщенные объект или система имеют только те компоненты, которые действительно существуют в конкретных СС; во-вторых, они математически определены как организованная совокупность компонент заданных в частной системе координат частной двухмерной матрицей $\delta_{ik}$.

Формализация этапов производства СС в общем случае есть система актов изменения, состоящих по преимуществу в преобразованиях как непосредственных, так и опосредствованных структур, отношений, взаимодействий.

В последующей теории названная философская категория «непосредственное» будет использована для обозначения структур конкретных СС, а также взаимодействий и отношений, которые включают целые цепи промежуточных звеньев, лишь бы они не охватывали связи с какими-то другими СС, что соответствует преимущественно внутренним, но не только прямым взаимодействиям между компонентами и вообще частями данного объекта.

«Опосредствование» отображает особенности определения и реального существования объектов и систем, взятых не сами по себе, а через раскрытие их отношений обязательно к чему-то другому. Тогда опосредствованными взаимодействиями, отношениями, структурами будем считать те, которые формируются на основе влияния со стороны внешних условий.

Нам предстоит рассматривать единство этих категорий, учитывая их различия и отдавая ведущую роль то одной, то другой категории, т.е. как бы сосредотачиваясь на одном из полюсов, а затем переходя к другому. Например, результаты таких сложно опосредствованных процессов, как разработка технологических процессов изготовления, контроля и испытаний СС на базе конкретных конструкций этих СС овеществлены на рабочем месте исполнителя, где ведущую роль играют непосредственные взаимодействия, связи, вообще – отношения.

В соответствии с введенными категориями выделим два типа преобразований:

1. Сложно опосредствованные, связанные с преобразованием информации, в результате которых создаются информационные структуры или системы информации;

2. Непосредственные, связанные с физико-химическими преобразованиями исходных материалов в готовые СС.

Системы информации возникают в результате изучения непосредственных структур СС, которые служат носителями первичной информации, переработки и дополнения воспринимаемых от них связей и соотношений на основе включения в рассмотрение других СС, научно-технических материалов и т.п. Эти сложные процессы, включающие моделирование отношений, сущности процессов взаимодействия, структур других СС, создают информацию, используемую для управления технологическими процессами изготовления, контроля и испытаний этих СС, которая приобретает состояние собственной специфической

организованности и активности. При этом в системах информации представлены и могут создаваться или преобразовываться информационные структуры для различных этапов производства. Например, вводя в рассмотрение лишь принципиальную схему конкретного объекта, может быть осуществлен выбор параметров компонент и по ним сами компоненты, спроектирована маршрутная и операционная технология изготовления, карта контроля, программа контроля и испытаний для средств автоматического контроля, получена спецификация на компоненты, составлен заказ на материалы и многое другое по желанию специалистов различных служб предприятия.

Рассматривая преобразования второго типа, связанные с этапом изготовления СС, который включает в себя упорядоченное множество реализации проектных параметров и, который в общем виде можно записать в виде вектора

$$M_A = (m_1, m_2, \ldots, m_k), \qquad (2.14)$$

где вектор $m_i$ означает реализацию параметров $X_i$, видим, что в нем выполняется физическая работа по воспроизводству материальных систем, создаваемых на основе сложившихся информационных структур.

Из физических соображений различные типы преобразований, встречающиеся при производстве СС, разобьем на следующие:

1) преобразования соединения;

2) преобразования сети;

3) преобразования усилий (токов) сети.

Формальное понятие «преобразование» и построение абстрактной модели преобразований в теории представлений основано на теории тензора преобразований, как группы матриц преобразований. Поэтому в дальнейшем будут использоваться только преобразования специального типа, которые определяются с помощью матрицы преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$. Тогда

перечисленные типы преобразований будут выражаться формулами для первого типа

$$M_A = \mathrm{C}\, M'_A, \qquad (2.15)$$

где $M_A$ – конкретный объект;

$M'_A$ – обобщенный объект;

$\mathrm{C} = \mathrm{C}^{\alpha}_{\alpha'}$ – матрица преобразования (соединения) второго и третьего типов:

$$\mathrm{I} = \mathrm{C}\mathrm{I}', \qquad (2.16)$$

где $\mathrm{I}'$ – вектор воздействий в обобщенных объекте или системе;

I – вектор воздействий сети конкретных СС;

$\mathrm{C} = \mathrm{C}^{\mathrm{m}}_{\mathrm{m}'}$ – матрица преобразования СС, показывающая соединении отдельных компонент СС или СС (сетей) в целом.

В соответствии с введенными выше понятиями и определениями уточним физическую и математическую интерпретацию преобразований, связанную с выполнением различных операций изготовления (соединения), контроля (отклик на воздействие) и испытаний (поведение) СС для реальных нагрузок и усилий.

Физическая природа компонент рассматриваемых СС определена – это различные материалы, заготовки, изделия из них. Однако это многообразие может быть сведено к пространству-структуре, характеризуемое, с одной стороны, точками, линиями, поверхностями, соединениями перечисленных компонент, над которыми выполняются операции технологических процессов изготовления, с другой – цепями, которые играют центральную роль при выполнении операций контроля и испытаний и, которые объединяют в своих понятиях структуру и протекающие в этой структуре процессы. Преобразования такого пространства, как указывалось выше, суть соединения, т.е. связей между компонентами и пространствами соединения этих компонент.

Для преобразования абстрактного пространства–структуры, моделирующего любую СС, рассмотрим отображения некоторого множества М в себя. Такие отображения называются преобразованиями множества М. Известно, что отображения инъекции, сюръекции и биекции при преобразованиях конечных множеств совпадают. Поэтому для преобразования пространств-структур СС, которые представляются как конечные множества, будет выделен лишь класс биективных преобразований.

При изучении преобразований произвольного абстрактного объекта или системы будем придерживаться определенных стандартных обозначений. Природа соединений компонент СС при изучении их преобразований не существенна. Следовательно, можно занумеровать все соединения компонент СС с учетом номера компоненты и номера соединений в ней, например, 1-1, 1-2, 1-3, …, 1-n, где первое число есть номер компоненты в СС, а второе – номер соединений этой компоненты, затем введем бинарный алфавит {0, 1}, который в соответствии с выше введенными мероприятиями будет будет использован для обозначения наличия {1} или отсутствия {0} связи между пространством соединения компонент СС. Рассматривая преобразования произвольных абстрактных объекта или системы, будем иметь в виду множество матриц преобразования $C = C_{\alpha'}^{\alpha}$, каждая из которых физически представляется посредством строп (поверхностей), соединяющих заданные пары в пространстве соединений компонент этих СС. Совокупность этих матриц преобразования представляет объект или систему преобразования

$$M = \{C_1, C_2, C_3, \ldots, C_n\}. \qquad (2.17)$$

Задавая преобразования матрицами, будем записывать их в виде (2.18).

(2.18)

$C_i =$

| | 1-1 | 1-2 | . . . | j – m |
|---|---|---|---|---|
| 1–1 | 1 | | | |
| 1–2 | | 1 | | 1 |
| . | | | | |
| . | | | | |
| . | | | | |
| j – m | | | | 1 |

Такое обозначение характеризует преобразование. Читать матрицу преобразования (2.18) следует так: преобразование $C_i$, заданное матрицей, соединяет пространство 1 – 2 и j – m, При этом отсутствие соединений {0} в матрицу проставляться не будет с целью облегчения их анализа.

Итак, пространство соединений компонент СС является основой сети любых СС.

Для описания физических процессов преобразования СС введем ряд преобразований специального вида, удовлетворяющих следующим определениям.

Тождественное преобразование. Преобразование, описывающее физические операции подготовки соединений пространств (точек, линий, поверхностей) компонент или вообще к их соединению. Очевидно, что это преобразование все пространство соединений компонент из М оставляет свободным. Для математического представления такого вида преобразований введем нульмерную матрицу $C_0$, все члены которой равны нулю.

Постоянное преобразование. Преобразование, описывающее физические операции соединения на общую поверхность или соединения с общей поверхностью. Постоянное преобразование заданным пространством соединения компонент из М ставит в соответствие некоторую фиксированную точку, линию поверхность из М. Для математического

представления такого вида преобразований используется матрица $C^{\alpha}_{\alpha'}$, в которой выделены координаты точки, линии, поверхности и показаны соединения этой точки, линии, поверхности с заданными.

Произвольное преобразование. Преобразование, описывающее физические операции соединения для заданных пар точек, линий, поверхностей компонент СС. Этот вид преобразований есть биекция М на М. Для математического представления этого преобразования будет использовано множество матриц $C^{\alpha}_{\alpha'}$.

Обратное преобразование. Преобразование, описывающее физические операции разъединения для заданных пар точек, линий, поверхностей компонент СС. Математическое представление этого преобразования аналогично представлению произвольного преобразования с помощью матрицы $C^{\alpha}_{\alpha'}$, в которой {1} заменена на {–1}.

Проектирование и реализация технологических процессов изготовления, контроля и испытаний СС – это процесс решения инженерных задач и реализации в «металле» этих решений. При этом решение инженерных задач и реализация состоят из последовательных этапов, таких как анализ конструкции СС, ее изменения с учетом специфики производства, синтез технологического процесса, выбор экономичного варианта технологического процесса, изготовление оснастки, а также последовательности технологических операций, формирующих структуру СС. Преобразование отдельных этапов создания СС в единый взаимосвязанный процесс производства имеет две стороны: одна касается абстрактных преобразований, касающихся анализа этих СС, синтеза технологических процессов изготовления, контроля и испытаний и оптимизации этих этапов преобразований, а другая – физической реальности.

Рассмотрим математические аспекты теории абстрактных преобразований СС с одновременным отождествлением математических

формул с физической реальностью, которое осуществляется с помощью аксиом этой теории. При этом теория изготовления, контроля и испытаний СС при содержательной интерпретации остается верной в границах, которые определяются верностью исходных аксиом.

Введем в рассмотрение аксиомы предлагаемой теории.

Очевидно, что технология производства изделий ЭТО летательных аппаратов сложнее электротехники, являющейся базой для моделирования этих СС, поскольку технология построена на использовании многообразия разнородных явлений. Например, количество переменных, рассматриваемых при анализе технологических процессов, существенно больше, чем при анализе электрических цепей. Поэтому использование многомерных пространств для построения теории технологии производства СС, которые широко применяются для построения теоретической механики, вполне закономерно.

Следует также отметить, что СС присуще единство непосредственных структур; к числу таких структур принадлежат все формы СС, т.е. геометрические или, в широком смысле, морфологические структуры, все основные физические структуры – соотношения, связи, способы действия и т.п.

При построении общей теории представлений задаем системы аксиом и будем считать, что в данной теории они правильны в конкретной задаче. Такие аксиомы принято называть условиями задачи. Меняя условия задачи, переходим от одних верных утверждений к другим, но остаемся в рамках одной и той же теории.

Следует подчеркнуть, что система аксиом вводится для того, чтобы свести высококвалифицированную работу к нескольким стандартизованным этапам, что необходимо для точного формулирования инженерных задач технологии. Отметим, что в основу построения системы аксиом и теории в целом положена основная гипотеза, введенная выше.

Конкретные непосредственные структуры СС различных типов летательных аппаратов фундаментально подобны и, следовательно, их можно рассматривать как отдельные звенья различной размерности одной общей цепи, уравнения которой различны из-за различия выбранных систем координат, но которая следует в каждом отдельном случае единственному закону.

Для поддержки философской концепции об относительной целостности СС («объекты в объектах») и для расчленения сложных проблем изготовления, контроля и испытаний этих СС, возникающих при технологическом анализе, введем следующие аксиомы, составляющие основу прикладной математической теории технологического анализа.

$A_1$: Все бортовые системы разбиваются на определенное число k функциональных устройств из них (сетей), причем устройства, блоки определенной системы связываются фиксированным (единственным !) набором проводников через разъемы, и их набор определенной системы может связать лишь объекты фиксированного набора.

Аналогично формулируется эта аксиома для объектов.

Все объекты из СС разбиваются на определенное число реальных элементов (компонент) или функциональных модулей, причем элементы определенного объекта связываются фиксированным набором проводников, и их набор для определенного объекта может связать лишь объекты фиксированного набора.

$A_2$: Все множество структур (в общем случае – n-структур) СС и его компонент разбивается на три типа структур: механического закрепления электрических проводников, соединений с готовыми изделиями и обмена, причем каждая из этих трех типов является основой и стабилизацией связей и, следовательно, характеристик СС.

$A_3$: Всякую структуру СС, которую рассматривают состоящей из отдельных звеньев различной размерности одной общей цепи, однозначно

определяет одна из несколько формально составленных сумм ориентированных симплексов $S_k^i$.

Аксиомы $A_{1-3}$ означают, что единство трех структур на базе общей цепи, состоящей из отдельных звеньев, обращает любой рассматриваемый СС в геометрический комплекс K, который определяется в зависимости от этой СС одной или несколькими формально составленными суммами ориентированных симплексов.

Дальнейшие аксиомы будут апеллировать к содержательному смыслу связей между реальными элементами СС. Естественно считать, что выполняется аксиома:

$A_4$: Принадлежность реальных элементов одному и тому же функциональному модулю однозначно определяется электрическими связями. При этом также естественно считать, что электрическим связям между реальными элементами присущ определенный характер (частный и общий). При выделении функционального модуля не учитываются носящие общий характер связи, т.е. имеет место аксиома:

$A_5$: Если два реальных элемента входят в СС, то ответ на вопрос о том, принадлежат ли они одному функциональному модулю или нет, определяется частным характером связей.

Ясно, что существует ряд СС, частный характер связей которых не позволяет разбить их на функциональные модули; для того, чтобы учесть этот факт введем следующую аксиому:

$A_6$: Каждый реальный элемент может иметь частные связи не только с элементами функционального модуля, в который он входит, но и с любым элементом или элементами функциональных модулей СС.

Таким образом, аксиомы $A_{4-6}$ служат для формализации структуры связности. В этом случае каждый элемент СС рассматривается как точка, представляющая собой, чаще всего, узел связей в структуре.

Следующий набор аксиом описывает полную структуру связей, в которой учитываются все электрические свойства этих связей.

$A_7$: Существует единственная единичная несингулярная матрица монтажного пространства любого СС.

Аксиома $A_7$ содержит два утверждения, что для каждой СС существует единичная несингулярная матрица пространства соединений и что эта матрица единственная.

$A_8$: Для любой электрической сети, задающей соединения между точками, линиями, поверхностями пространства соединений конкретной СС, может быть найдена несингулярная матрица преобразования $C_{\alpha'}^{\alpha}$. При этом матрицы преобразования можно представить физически посредством электрических проводников, соединяющих различные точки, линии, поверхности реальных элементов СС.

Заключительный набор аксиом связан с преобразованием пространства соединений СС и формированием структур обмена этой СС. Понятие «преобразование» в технологии изготовления, контроля и испытаний связано с представлением об инварианте, т.е. с такой характеристикой изготавливаемой СС, которая остается неизменной.

Для всего множества СС – оборудования, каждое из которых имеет свою структуру обмена, выполняются следующие аксиомы:

$A_9$: Для каждой конкретной СС существует единственный инвариант, определяемый критерием поведения и что этот критерий единственный.

$A_{10}$: Существует преобразование специального типа, определяемое матрицей преобразования С, формирующей структуру обмена любой СС.

Теперь наша задача состоит в описании задаваемых аксиомами $A_{1-10}$ непосредственных структур, которые необходимы при проектировании технологических процессов изготовления, контроля и испытаний. При этом доказательством полноты аксиоматики будет указание эффективности

процедур получения исходных данных для решения различных задач проектирования этих технологических процессов.

Как указывалось выше, в последующей теории основную роль будут играть такие физические процессы, которые можно представить в виде n-мерной матрицы, тензора преобразования С и формулы преобразования (уравнения).

Если рассматривать процесс создания СС с позиций математических методов описания этих процессов, то любые СС описываются формулами преобразования, которые постоянно связаны с ними, и в которые входит, в качестве обязательного члена, тензор преобразования С, представляющий определенные операции, выполняемые над СС.

Формирование связей между компонентами СС является одним из основных видов изменений в физической структуре этих СС, которые могут быть математически представлены тензором преобразования С. Суть этих преобразований заключается в том, что производится замена множества воздействий обобщенных СС другим множеством воздействий, действующих в конкретной СС.

Выше дана физическая интерпретация тензора преобразования С, который представляется посредством проводников, шин, соединяющих различные компоненты обобщенных объекта или системы.

Введем в рассмотрение абстрактные действия над СС, которым дадим определенную физическую и геометрическую интерпретацию.

В инженерных (технологический анализ СС, синтез технологических процессов изготовления, контроля и испытаний этих СС, технологическая и организационная подготовка производства) и технических (соединения и контрольно-испытательные операции) задачах производства СС изменения их физической структуры разделены на последовательные этапы, которые выполняются каждый отдельно.

Введем для каждого из составляющих этапов изменений структуры объекта или системы матрицы преобразований $C_1$, $C_2$, …, $C_n$ и матрицу преобразования C, которая является результирующей.

Известно что все матрицы $C_i$ (i = 1, 2, …, n), изменяющие соединения различных компонент, т.е. преобразующие в нашем случае обобщенные СС в конкретные, образуют группу матриц преобразования. Эти матрицы $C_i$, будем называть «тензором соединений».

Рассуждая о группах матриц преобразования $C_i$ на аддитивном языке, введем в рассмотрение формулу получения результирующей матрицы преобразования $C = C^{\alpha}_{\alpha^{n'}}$

$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n, \quad C^{\alpha}_{\alpha^{n'}} = C^{\alpha}_{\alpha'} + C^{\alpha'}_{\alpha^2} + \ldots + C^{\alpha^n}_{\alpha^{n'}}. \qquad (2.19)$$

Разделение матрицы преобразования C на ряд последовательных матриц дает эффективный способ уменьшения размерности инженерных задач технологического анализа и синтеза. При этом каждый этап анализа может быть осуществлен независимо от других, а затем используя свойства действия сложения (ассоциативность, коммутативность, действия с нейтральным элементов (тождественное преобразование) и обратным элементом (обратное преобразование)) на элементах группы $C_i$ синтезировать технологический процесс как заданную последовательность преобразований.

Для формализации детальных решений конкретных конструкторско-технологических задач дифференцируем рассмотренное выше понятие компоненты и введем две фундаментальные компоненты:

– простую компоненту элемента СС;

– особую компоненту сети СС – электрическую связь.

Простые компоненты элементов СС являются либо базовыми элементами СС, либо составными частями сложных реальных элементов. Любая простая компонента элемента имеет точки, линии, поверхности

соединений, которые будем называть одним словам: узлами. Простые компоненты элементов будем обозначать h, k, $\ell$,q, s, t, v, w, а их узлы – цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Простые компоненты элементов СС и электрические связи образуют все главные структуры объектов: соединительные элементы, модули из них, различные ИССМ, изготовленные на их основе. Эти компоненты образуют пространство–структуру, полностью замкнутое и самосогласованное триединство (пространство СС – преобразования – элементы), образующие СС.

Для удобства выполнения сложения и других правил действия с n-матрицами разной размерности в дальнейшем каждой строке, столбцу и слою будут приписаны определенные для каждого конкретного множества величин индексы, как правило, из алфавита, обозначающего простые компоненты и их узлы, а также индексы, обозначающие одну физическую компоненту, например ток для модели $i_a$.

Для представления n-матриц будет использовано, как указано выше, индексное обозначение, в котором n-матрица обозначается одним символом из больших букв латинского алфавита – базовой буквой и к ней приписываются индексы, указывающие направления, по которым расположены компоненты матрицы.

Для выполнения различных математических операций над большим числом компонент, встречающихся в конструкторско-технологических задачах производства СС, также будем применять индексные обозначения, сущность которых состоит в том, что множеству компонент, имеющих один и тот же физический смысл, приписывается одна буква, называемая базовой, которая не меняется ни при каких преобразованиях этого набора компонент. Вся остальная информация об этом наборе и его конкретных компонентах сообщается в виде индексов, которые пишутся рядом с базовой буквой.

В индексном обозначении сложение двух n-матриц производится в соответствии со следующими соотношениями

$$A_{\alpha} + B_{\alpha} = C_{\alpha}, \tag{2.20}$$

$$A_{\alpha\beta} + B_{\alpha\beta} = C_{\alpha\beta}, \tag{2.21}$$

из которых следует, что скользящие индексы остаются неизменными: меняется только базовая буква.

Ниже дополнительно будут введены специфические операции, используемые при решении конкретных задач технологии изготовления СС. Следует также отметить, что в теории разработано достаточное число конкретных процедур для выполнения умножения, деления, дифференцирования n-матрицы в зависимости от специфики решаемой задачи.

Итак, целью введения матриц преобразования С, n-матриц и операций или действий с ними при формализации описания объектов производства и технологических процессов их изготовления, контроля и испытаний является, с одной стороны, сокращение числа уравнений и числа символов, употребляемых при анализе и синтезе объектов и преобразований, с другой – облегчение организации, математических преобразований и решения инженерных задач, так как множество величин, имеющих тот или иной физический смысл, заменено одним символом. После получения окончательного результата в n-матрицах для конкретизации ответа на поставленную задачу необходимо развернуть символические выражения до обычной формы записи, в которой видна каждая величина.

Как указывалось выше, компоненты n-матрицы соответствуют некоторому определенному геометрическому или физическому понятию, и в каждой задаче количество n-матриц равно количеству геометрических или физических понятий. Следовательно, введение необходимого количества n-матриц или их сокращение должно осуществляться, исходя только из геометрической картины или физической природы решаемой задачи.

Система уравнений пространства–структуры изделий и систем

Теперь остановимся более подробно на математическом представлении СС с учетом вышеприведенных понятий и определений, позволяющем заменить реальные объекты или системы системой уравнений, удобных для формализации технологических процессов их изготовления.

В большинстве случаев технологического проектирования операции с уравнениями и системами матричных уравнений связаны не с нахождением неизвестных величин, а, как правило, с установлением соотношений между известными величинами, удовлетворяющих некоторому критерию поведения СС. Следует отметить, что возможные операции с n-матрицами и системами уравнений весьма разнообразны, а это обеспечивает достижение важных целей на этапах анализа и синтеза как объектов производства, так и технологических процессов.

Используя введенные выше понятия и определения для решения широкого круга вопросов анализа, синтеза технологических процессов производства СС на единой основе рассмотрим *уравнения фундаментальной обобщенной СС*. В теории представлений СС, как указывалось выше, рассматриваются две фундаментальные компоненты: простая компонента элемента СС и особая компонента сети СС – электрическая связь. Еще раз отметим, что под понятием «элемент СС» подразумеваются реальные элементы, из которых состоят те или иные СС, обладающие набором простейших компонент, которые рассматриваются как основа для построения электрической сети и в то же время являются носителями информации об этой сети, т.е. определенной простой компоненте соответствует определенный набор соединений, которые означают входные и выходные узлы.

Множество простых компонент реального элемента СС будем обозначать большими буквами латинского алфавита, например А-символом

для отдельной простой компоненты будет служить малая буква латинского алфавита $a, a \in \mathrm{A}$.

Множество всех простых компонент состоит из непересекающихся классов простых компонент $\mathrm{A}^{\beta}, \mathrm{A}^{\beta} \in \mathrm{A}$, где $\beta$ – общий индекс, индекс класса простых компонент,

$$\mathrm{A} = \bigcup_{\beta} \mathrm{A}^{\beta}, \ \mathrm{A}^{\beta} \text{ – непересекающиеся классы.} \qquad (2.22)$$

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что простые компоненты, сходные качественно, будут относиться к одному классу. Под понятием «СС» подразумевается объект, обладающий определенным набором реальных элементов,

$$A = \{ A_1, A_2, \ldots, A_{\mathrm{n}} \}, \qquad (2.23)$$

которые рассматриваются как состав реальных элементов конкретной СС и в то же время рассматривается структура механической сети, представляющая собой множество $\sigma$ соединений, существующих между всеми или некоторыми элементами из пространства соединений реальных элементов этих ИССМ, т.е. объект определен, если заданы состав $(A)$ и структура связей $(A) - \sigma$.

Простые компоненты и электрические связи образуют все электрические структуры СС: элементы, готовые изделия, модули и т.д. Для получения фундаментальных уравнений различных СС наиболее важным моментом является их геометризация – определение для них и их компонент пространства–структуры, систем координат в нем, преобразования координат, построение формул преобразования, которые переводят фундаментальные обобщенный объект в конкретный.

Решение поставленной задачи строится на ранее введенных понятиях и процедуре нормирования, которые позволяют геометрически представить простые компоненты одномерным пространством (линиями), ограниченным точками, с помощью которых они включаются в электрическую сеть.

Выделенные точки, линии, поверхности всех компонент представляют нульмерное пространство СС. Наложение механических цепей на монтажное пространство переводит последнее в пространство сетей. Следовательно, электрическая сеть СС – это сложное пространство–структура. Разложение этих СС на составляющие его простые компоненты, электрические цепи трактуется как их представление в частной системе координата некоторого пространства–структуры.

При описании свойств электрических сетей СС для нужд теории представлений на начальном этапе будет использовано, как указывалось выше, представление, которое исключает из рассмотрения конструктивные константы. Тогда свойства этих сетей могут быть полностью описаны метолами комбинаторной топологии, а теорией сетей без конструктивных констант является теория тензора преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$, или обратного ему $C^{\alpha'}_{\alpha}$.

Известно, что все способы математического описания поведения различных электрически сетей инварианты относительно преобразований, связанных с группой матриц преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$, изменяющих соединения в заданном пространстве различных компонент, т.е. преобразующих подпространство–структуру простых компонент (частная система координат) СС в сеть с теми же компонентами (преобразование этой системы координат) или с группой матриц $C^{\beta}_{\beta'}$, появляющихся при исследовании сетей (преобразования материалов и их соединения), имеющих действительные компоненты. Эти матрицы преобразования составляют основу изучения свойств сетей, поскольку они выражают законы Кирхгофа для электрических моделей в неявном виде.

В теории представлений преобразований, т.е. отображения некоторого множества М в себя, рассматриваются не как формальный математический прием, а как способ отображения из одного действительного

подпространства–структуры в другое, тоже действительное, но дополнительное к нему подпространство–структуру.

С помощью введенных представлений о точечной компоненте, обобщенных объекте и системе, свободных сетях, преобразованиях систем координат можно уточнить определение понятия дополнительного подпространства-структуры и ввести новые математические объекты для описания всего многообразия конкретных СС в этих подпространствах–структурах.

Выше указывалось, что в большинстве проблем изготовления, контроля и испытаний СС, связанных с различными этапами их анализа и синтеза процессов изготовления, не все их компоненты одинаково важны. Следовательно, для решения всего комплекса задач теории и практики приходится иметь дело более чем с одним пространством–структурой и, как следствие, более чем с одной частной системой координат, каждая из которых связана со своим пространством–структурой.

Введение новых математических объектов связано со спецификой задач изготовления, контроля и испытаний СС. Решение этих задач не требует нахождения неизвестных величин, а в основном связано с установлением некоторых соотношений между известными величинами, удовлетворяющими некоторому критерию, обеспечивающему требуемое поведение либо части, либо СС в целом.

Чтобы учитывать отдельно части взаимосвязанных компонент СС, имеющие разную значимость в данной задаче, необходимо исходное представление этих объектов и систем (тензор в конкретном пространстве–структуре) заменить на сумму их частей (сумма тензоров частей в другом пространстве–структуре, дополнительном к первому), а инвариантное уравнение поведения сети заменяется несколькими уравнениями, описывающими поведение соответствующей части компонент СС. При этом эта часть взаимосвязанных компонент – сама есть объект (стропа,

функциональный модуль), т.е. механическая сеть, а для СС ее части – есть объекты этой системы и, следовательно, каждая из этих частей может быть представлена своим тензором, в зависимости от имеющихся тензоров преобразования. Тензор, представляющий все СС и состоящий из тензоров, описывающих части этих СС будем называть компанд-тензором. Для этих тензоров вводится новый тип фиксированных индексов – компанд-индексы, задающие оси частной системы координат. Компанд-индекс заменяет не одну, а несколько осей.

Действия с компанд-тензорами выполняются аналогично с действиями над обычными тензорами, т.е. их можно складывать, умножать, дифференцировать и т.д.

Аналогично тому, как тензор СС может быть расчленен и представлен через тензоры частей этих СС, т.е компанд-тензор, можно каждый тензор части компонент расчленить на несколько компонент. Последовательное расчленение тензоров частей компонент может быть продолжено до выделения такой части компонент, которое позволяет снизить сложность задачи до приемлемого уровня. Многократное расчленение исходного тензора и его представление через тензоры, полученные в результате этого членения, образует мулькомпанд-тензор любой сложности, для которых любые инвариантное уравнение, формула, полученные для обычного тензора, справедливы и для мультикомпанд-тензора. Чтобы представить мультикомпанд-тензоры в индексном обозначении, необходимо ввести фиксированные и переменные мультикомпанд-индексы .

Введенные новые математические объекты – компанд-тензоры позволяют сформулировать концепцию компанд-сети, т.е. такой механической сети, каждая компонента которой представляет целую электрическую сеть. Описание структуры компанд-сети осуществляется через тензоры, представляющие описание компонент и тезор преобразования (соединения) этих компонент. Следовательно, физически электрическая сеть

СС образована компанд-компонентами (сложными элементами, функциональными модулями, готовыми изделиями и т.п.), каждая из которых сама по себе является электрической сетью, так что действительная сеть состоит из этих составляющих сетей, соединенных последовательно или параллельно.

Чтобы завершить формирование понятий, на базе которых будет построена система уравнений фундаментального обобщенного СС, укажем, что дополнительным к данному вещественному подпространству–структуре $S_1 \cup M_1$ является такое вещественное подпространство–структура $S_2 \cup M_2$, свойства которого отображаются на первое через преобразование, заданное тензором преобразования $C^{\alpha}_{\alpha'}$. Иными словами, свойства СС, которые они проявляют, например, во втором подпространстве-структуре, отображаются на первое так, как если бы в первом подпространстве–структуре можно наблюдать структуру СС во втором подпространстве–структуре, видоизмененную соответствующим образом $C^{\alpha}_{\alpha'}$.

Из приведенных выше рассуждений следует, что переход от одного действительного подпространства–структуры к другому, ему дополнительному, осуществляется через тензор преобразования, который представляет определенные операции, выполняемые над СС, и означает невозможность непрерывного аналитического перехода.

Такова структура математических объектов, которые используются в теории представлений СС. С учетом указанных особенностей к ним применимы теоремы теории групп, теоретико-множественные понятия отображения и преобразования, справедливые для обычных евклидовых пространств $R^3$.

Таким образом, в теории представлений СС введение сложного пространства-структуры, состоящего из различных видов подпространств-структур, комбинаторная топология и тензорная методология рассматриваются как удобный набор взаимно и однозначно

самосогласованных математических формализмов, предназначенных для решений уравнений, определяющих связь между подпространствами–структурами–преобразованиями и компонентами.

В работе предлагается использовать в качестве такого уравнения зависимость между: сильными компонентами графа G = ($A^0$, $F$) ИССМ, представляемыми порожденными подграфами G′ = { $A^0$ – R ($a_k^0$) ⋂ Q($a_k^0$) }, где $A^0$ – множество точек (не только геометрических, но и вещественных), $F$ – отображение множества $A^0 \, b \, A^0$, R($a_k^0$) – достижимые множества точек $A^0$, $a_k^0 \in A^0$, Q($a_k^0$) – контрадостижимое множество, и конечными ориентированными простыми цепями $C_\nu = \sum_{\nu=1}^{\gamma} m_\nu \, a_\nu^i$, формально описываемых линейной формой (2.7), которые представляют систему координат.

$$\bigcup_n \{A^0 - R(a_k^0) \bigcap Q(a_k^0)\} = \sum_n \{\sum_{\nu=1}^{\gamma} m_\nu \, a_\nu^0\}. \qquad (2.24)$$

В теории представлений ИССМ используется предложенная автором зависимость (2.24), которая рассматривается им в разных подпространствах-структурах, введенных выше для представления структур СС и всех допустимых видов преобразования этих структур, и поэтому вместо одного уравнения (2.24) должна быть записана системой уравнений

$$\bigcup_n \{A^{0(q)} - R(a_k^{0(q)}) \bigcap Q(a_k^{0(q)})\} = \sum_n \{\sum_{\nu=1}^{\gamma} m_\nu \, a_\nu^{0(q)}\}, \; q = 1, 2, 3, \qquad (2.25)$$

где q – индекс данного подпространства-структуры.

В отличие от (2.24) система уравнений (2.25) является полной и поэтому дает однозначное решение во всех рассматриваемых случаях.

Число этих уравнений, необходимое и достаточное для описания СС, определяется набором задач, которые необходимо решить для нужд практики, и, как следствие, особенностями представления структуры

объектов и систем в этих задачах, а также условиями полного самосогласования.

Как показано выше, в рамках теории представлений каждая СС проявляет себя через свою структуру в виде локальных образований (компонент( и в виде связей, которые реализованы физически посредством соединений (строп). Для общего представления этих объектов и систем нами выбрано пространство-структура, состоящее из подпространств $S_q \cup M_q$, каждое из которых содержит континуальную $S_q$ и дискретную $M_q$ части.

Используя введенные пространства–структуры $S_q \cup M_q$ утверждаем, что в каждом из них объект или система проявляются через некоторую структуру, определяемую их физическими компонентами, с различной степенью детализации их представления. Так, СС – это полностью взаимосвязанный определенный набор реальных компонент, т.е. единое целое, первого подпространства $S_1 \cup M_1$, где каждая компонента проявляется как точка, следовательно, дискретная часть $M_1$ подпространства-структуры $S_1 \cup M_1$ может быть представлена состоящей из определенных точек, линий, поверхностей, последовательности которых можно рассматривать как значения характеристик различных СС. Такой характеристикой на этом этапе представления является «количественная сложность» $\Delta$ (2.1), а фундаментальным математическим объектом, вводящим эту характеристику в уравнение СС в первом подпространстве–структуре, будет символ Кронекера $\delta_{ij}$ (2.13).

Континуальная часть $S_1$, т.е. связность СС выражается, как уже отмечалось выше, в том, что их компоненты включены в сеть связей друг с другом.

Далее необходимо учитывать тот факт, что между любой парой компонент, как правило, возникают связи нескольких типов, тогда в одной и той же компоненте необходимо выделить все связи. Свойства связности на этом этапе представления СС должны определяться более полной

структурой, т.е. структурой, учитывающей все пространственные связи. Полная структура характеризует полные внутренние пространственные особенности СС. На такой схеме должны быть отражены и внешние границы СС и все их внутренние границы, т.е. узлы контактирования связей каждой компоненты. Структуру узлов контактирования каждой компоненты и всего СС, порождающих СС, необходимо описать уже во втором подпространстве–структуре $S_2 \cup M_2$. При этом, если воспользоваться представлениями и терминами теории множеств, то, выделив в составе компонент некоторого СС определенную компоненту, будем вправе рассматривать ее как самостоятельное множество, включающее все узлы контактирования механических связей. Применив эти рассуждения ко всем оставшимся компонентам СС, получим множество самостоятельных множеств узлов контактирования, т.е. их объединение сформирует дискретную часть $M_2$ этого второго подпространства. Так как компоненты этого состава входят в сеть связей СС, имеющих вполне определенную структуру, то и для любой пары узлов контактирования этих компонент можно установить связаны они или не связаны. Тогда получаем возможность определить, какие узлы второго множества поставлены в соответствие узлу первого (единичного, выделенного узла) множества, т.е. как на первое множество отображено второе. Следовательно, в результате будет выявлена структура внешней связности СС и тем самым получена континуальная составляющая $S_2$. Полученный результат по подпространству–структуре $S_2 \cup M_2$ необходимо отобразить на первое подпространство–структуру $S_1 \cup M_1$ и получить искомые свойства этих СС, т.е. r- пространство соединений (узлы контактирования – нульмерные симплексы). Схема сети связей, полученная во втором подпространстве– структуре $S_2 \cup M_2$ путем представления компонент (узлов связей) соответствующими самостоятельными множествами узлов контактирования и построения множества связей самостоятельных множеств выделенных компонент с узлами

контактирования самостоятельных множеств других компонент, позволила сформировать полную структуру связности пространства СС. Однако, пока в компоненте не выделены ее части (субкомпоненты) и, следовательно, не выявлена сеть связей между ними, до тех пор в число его свойств, характеризующих целостность, входит только наличие узлов контактирования, что не обеспечивает искомой связности описания и физического представления компонент и их субкомпонент.

Для описания субкомпонент и сети связи между ними, т.е. схемы связи каждой компоненты, вводится третье дополнительное подпространство–структура $S_3 \cup M_3$, в котором рассматривается не только субкомпонента, но и единое подпространство–структура субкомпонент. В областях, занятых дополнительными подпространствами–структурами, надо рассматривать только аналитическое продолжение второго дополнительного подпространства–структуры $S_2 \cup M_2$. Таким образом, на континуальную часть $S_2$ отображается континуальная часть $S_3$, которая представляет сеть связей субкомпонент компонент и, которая вводит связность между узлами контактирования каждой компоненты из состава компонент СС. Дискретная часть $M_2$ дополняется дискретными субкомпонентами связи дискретной части $M_3$, т.е. подпространство–структура $S_3 \cup M_3$ представляют структуру, которая определяет связь между узлами контактирования субкомпонент, образующих и компоненту и СС в целом. При этом выполняется критерий полного описания структуры СС в пространстве–структуре N (2.2), т.е. получаем связную структуру СС.

Итак, любые СС имеют следующую структуру. В «компонентной» системе координат, где СС выступают как единое целое, они рассматриваются в первом подпространстве–структуре $S_1 \cup M_1$, для которого дополнительным является пространство, включающее все узлы контактирования компонент и связи между ними. Эта структура описывается только во втором подпространстве–структуре $S_2 \cup M_2$, для которого

дополнительным уже служит подпространство–структура $S_3 \cup M_3$. Третье подпространство–структура $S_3 \cup M_3$ не имеет внутри себя дополнительных подпространств и, по определению, является последним.

Связи в теории представлений рассматриваются как пара узлов контактирования, которые после включения в сеть связей не наблюдаются, хотя продолжают существовать в дополнительном подпространстве-структуре.

Таким образом, для полного описания СС необходимо и достаточно рассмотрения их в трех подпространствах–структурах:

$$N = S_q \cup M_q, \quad q = 1, 2, 3. \tag{2.26}$$

Рассмотрим более подробно систему основных уравнений представления главной структуры СС и общие подходы к ее решению

Из вышеприведенных рассуждений о составляющих пространства-структуры (2.26) и уравнения (2.25) следует (для всех трех подпространств–структур):

в подпространстве–структуре $S_1 \cup M_1$:

дискретная составляющая подпространства–структуры представляет собой просто состав компонент $A_i$ СС, каждая из которых есть, в свою очередь, сложный геометрический объект, т.е. каждая компонента в этом подпространстве есть компанд-тензор соединения его субкомпонент, тогда математическим представлением дискретного подмножества $M_1$ этого подпространства–структуры СС будет символ Кронекера $\delta_{ij}$ и уравнение для $M_1$ будет иметь вид

$$A^{0(1)} = \delta_{ij} \tag{2.27}$$

для континуальной составляющей $S_1$ множество соединений $\sigma$ представляет собой объединение множеств $\sigma_1, \sigma_2, \ldots$, где всякое множество $\sigma_i$ есть сильная компонента графа СС. При этом выбираем такой тип соединений, что ориентированные стрелки в $\sigma$ образуют частичный порядок, удовлетворяющий соответствующим аксиомам-условиям, т.е. утверждениям,

которые имеют место в конкретной ситуации, а уравнение для $S_1$ будет иметь вид:

$$\bigcup\{A^{0(1)} - \mathrm{R}(A_{\mathrm{i}}^{0(1)}) \bigcap \mathrm{Q}(A_{\mathrm{i}}^{0(1)})\} = \sum_{\mathrm{n}=1}^{\beta}\{\sum_{\mathrm{k}=1}^{\alpha} \mathrm{m_k S_k^{1(1)}}\}, \qquad (2.28)$$

где $A^{0(1)}$ – в соответствии с (2.22) множество компонент $A_{\mathrm{i}}$ и $\mathrm{Q}(A_{\mathrm{i}}^{0(1)}), \mathrm{R}(A_{\mathrm{i}}^{0(1)})$ – достижимые и контрадостижимые множества для всех компонент СС;

$\mathrm{S_k^{1(1)}}$ – одномерные симплексы;

$\mathrm{m_k}$ – целое число, поставленное в соответствие симплексу $\mathrm{S_k}$ (набору, например, строп ) в подпространстве–структуре $\mathrm{S_2 \bigcup M_2}$:

как указывалось выше, несмотря на то, что $\mathrm{M_1}$ состоит из точечных, дискретно расположенных компонент, в то же время каждая из них является сложным геометрическим объектов, т.е. при таком рассмотрении компоненты она может быть представлена компонентой-множеством, в котором для задач разрабатываемой теории нас будет интересовать множество узлов контактирования, нарушающих связность компоненты и не поддающихся описанию посредством одного и того же тензора соединения этих узлов; для описания «сколапсированных» в первом подпространстве-структуре $\mathrm{S_1 \bigcup M_1}$ областей, представляющих отдельные компоненты, производится такое переопределение координат, при котором дополнительная дискретная составляющая $\mathrm{M_2}$ описывается уже другим тензором, т.е. другим подпространством–структурой $\mathrm{S_2 \bigcup M_2}$, а именно:

$$A^{0(2)} = \delta_{\alpha\beta}, \qquad (2.29)$$

где $\delta_{\alpha\beta}$ – символ Кронекера, математически представляющий узлы контактирования компонент СС в соответствующей системе координат.

Связи СС, участвующие в соединении их компонент и представляемых структурой связей $\sigma$, будем называть внутренними связями СС; в первом подпространстве-структуре структура связей $\sigma$ представляет собой

объединение множеств $\sigma_i$, свойства которых в рамках этого подпространства можно либо постулировать, либо определять из эксперимента; физические свойства и полнота структуры связей $\sigma$ определяются во втором подпространстве-структуре $S_2 \cup M_2$, в котором видна структура каждой компоненты, представленных их узлами контактирования, что позволяет получить опорное пространство СС, компонентами которого будут узлы контактирования, а список соединений, представленный матрицей инцидентности структуры связей $\sigma$ и, как следствие, системы координат, очевидным образом расширяется от $\sigma_A^{0(1)}$ до $\sigma_A^{0(2)}$ посредством поточечного отображения узлов контактирования $a_i$ компонент $A_i$ на узлы контактирования $a_j$ компонент $A_i$ и $A_j$ ($i \neq j$), следовательно, для континуальной составляющей $S_2$ подпространства–структуры $S_2 \cup M_2$ уравнение будет иметь следующий вид:

$$\bigcup \{A^{0(2)} - R(a_i^{0(2)}) \cap Q(a_i^{0(2)})\} = \sum \{\sum_{\alpha=1}^{\gamma} m_\alpha S_\alpha^{1(2)}\}, \qquad (2.30)$$

где $A^{0(2)}$ – множество компонент $A_i$, представленных их узлами контактирования $a_i^{0(2)}$, $R(a_i^{0(2)})$ и $Q(a_i^{0(2)})$ – достижимые и контрадостижимые множества для всех узлов контактирования $a_i^{0(2)}$ монтажного пространства СС $a_i^{0(2)} \in A_i$, $S_\alpha^{1(2)}$ – одномерные симплексы (стропы, соединяющие узлы контактирования); $m_\alpha$ – целое число, поставленное в соответствие симплексу $S_\alpha^{1(2)}$; в подпространстве–структуре $S_3 \cup M_3$.

Приведенное выше представление компонент в виде компоненты–точки ($S_1 \cup M_1$) и в виде компоненты–множества точек ($S_2 \cup M_2$) не привели к связному образу как самой компоненты, так и СС в целом; однако, введение компоненты–множества точек (узлов контактирования) позволило поставить вопрос об описании более мелких деталей компонент-субкомпонент,

рассмотрение которых позволяет получить недостаточную связность пространства-структуры и компонент, и СС в целом, тогда дополнительная дискретная составляющая $M_3$ третьего подпространства–структуры $S_3 \cup M_3$ может быть формализована тензором соединения множеством точек (узлов контактирования) компоненты:

$$A^{0(3)} = C^{\alpha}_{\alpha'} \delta_{\alpha\beta}, \qquad (2.31)$$

где $C^{\alpha}_{\alpha'}$ – тензор соединения узлов контактирования компоненты;

$\delta_{\alpha\beta}$ – представление узлов контактирования компоненты $M_2$.

Связи субкомпоненты, участвующие в соединениях узлов контактирования компоненты, будем называть внутренними связями компоненты; в отличие от внутренних связей между компонентами в СС, внутренние связи компонент имеют конкретную интерпретацию, они могут быть как статическими, так и динамическими; множество связей компоненты, соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей (статических и динамических) компоненты, при этом эти связи являются частью собственно компоненты, тогда графический формализм (граф), дающий интуитивное представление о свойствах связности субкомпонент компонент СС описан следующим уравнением для континуальной составляющей $S_3$ подпространства–структуры $S_3 \cup M_3$ ,

$$\bigcup \{A^{0(3)} - R(a_i^{0(3)}) \cap Q(a_i^{0(3)})\} = \sum_{m} \{\sum_{r=1}^{\lambda} m_r S_r^{1(3)}\}, \qquad (2.32)$$

где $A^{0(3)}$ – множество субкомпонент компоненты $A_i$, представленных их узлами контактирования $a_i^{0(3)} \in A_i$, $R(a_i^{0(3)})$ и $Q(a_i^{0(3)})$ – достижимые и контрадостижимые множества для узлов контактирования рассматриваемой компоненты; $S^{1(3)}$ – одномерные симплексы; $m_r$ – целое число, $a_i^{0(2)}$ монтажного пространства СС $a_i^{0(2)} \in A_i$, $S_{\alpha}^{1(2)}$ – одномерные симплексы

(стропы, соединяющие узлы контактирования); $m_r$ – целое число, поставленное в соответствие симплексу $S_r^{1(3)}$.

Таким образом, с учетом специфики пространства-структуры система уравнений состоит из шести уравнений и имеет вид:

в пространстве-структуре $S_1 \cup M_1$

для $M_1$:

$A^{0(1)} = \delta_{ij}$ ;

для $S_1$:

$$\cup\{A^{0(1)} - R(A_i^{0(1)}) \cap Q(A_i^{0(1)})\} = \sum_{n=1}^{\beta}\{\sum_{k=1}^{\alpha} m_k S_k^{1(1)}\};$$

в пространстве-структуре $S_2 \cup M_2$

для $M_2$:

$A^{0(2)} = \delta_{\alpha\beta}$ ;

для $S_2$:

$$\cup\{A^{0(2)} - R(a_i^{0(2)}) \cap Q(a_i^{0(2)})\} = \sum\{\sum_{\alpha=1}^{\gamma} m_\alpha S_\alpha^{1(2)}\};$$

в пространстве–структуре $S_3 \cup M_3$: (2.33)

для $M_3$:

$$A^{0(3)} = C_{\alpha'}^{\alpha}\delta_{\alpha\beta};$$

для $S_3$:

$$\cup\{A^{0(3)} - R(a_i^{0(3)}) \cap Q(a_i^{0(3)})\} = \sum_{m}\{\sum_{r=1}^{\lambda} m_r S_r^{1(3)}\}.$$

При решении уравнений для дискретных подпространств рассматриваются дополнительные M континуальной области всего пространства N как аналитическое продолжение дискретного пространства–структуры. Укажем, что образ точки M связан с обобщением понятия точки в расслоенных пространствах, где точка эквивалентна автономному пространству. Иначе говоря, можно наглядно представить, что точка в

расслоенном пространстве эквивалентна точке в смысле Евклида, которой соответствует свое пространство. Следовательно, точка из M является узлом контактирования с различной степенью детализации в рассматриваемом подпространстве-структуре $S_q \cup M_q$ и определяет в нем характер компонент – носителей информации о монтажном пространстве СС. Смысл этого состоит в том, что определенная компонента в выбранном подпространстве означает лишь дифференциальные или интегральные узлы для возможных соединений между компонентами СС.

Для решения уравнений, (2.28), (2.30) можно получить информацию о свойствах пространства СС, представляя расслоенное пространство в целом. Для СС оно представляет совокупность большого числа пространств, из которых одно, называемое базой, играет особую роль. Каждая точка этого пространства взаимно и однозначно связана со своим подпространством-пространством-структурой компоненты СС, называемым слоем над базой. Каждой точке в базе (M) соответствует свое пространство–структура $M_2$. Информация о пространстве СС в рамках фундаментальных представлений о них получается по найденным значениям $\delta_{ij}$ , $\delta_{\alpha\beta}$.

Тензорное представление различных пространств соединения в общем случае n-мерного евклидова пространства со слоем $S^1$ можно записать в виде компанд-тензора

$$\delta_{ij} = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & \ldots & n \\ 1 & (\delta_{\alpha\beta})_1 & & & & \\ 2 & & (\delta_{\alpha\beta})_2 & & & \\ 3 & & & (\delta_{\alpha\beta})_3 & & \\ \cdot & & & & \ldots & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ n & & & & & (\delta_{\alpha\beta})_n \end{array} \qquad (2.34)$$

В теории представлений, как указывалось выше, изучаются различные СС, получаемые из компонент или СС путем их соединения. Сначала эти компоненты СС рассматриваются как свободные, не связанные друг с другом, такие компоненты и СС будем называть базовыми для данного СС. Единичный тензор для базовых компонента или СС n будем обозначать через $(\delta_{\alpha\beta})_n$.

Рассматривая отображения некоторого множества A (пространства соединений) в себя можно получить соответствующую ему матрицу соединений $C^{\alpha}_{\alpha'}$, причем для краткости записи условимся, что индекс компоненты или ИССМ можно выносить за скобки, например, имеем

$$C^{\alpha}_{\alpha' n} \equiv (C^{\alpha}_{\alpha'})_n . \tag{2.35}$$

Таким образом, для системы базовых компонент или СС можно выписать систему их матриц соединений

$$\left.\begin{aligned} C^{\alpha}_{\alpha' 1} &= (C^{\alpha}_{\alpha''})_1 \\ C^{\alpha}_{\alpha' 2} &= (C^{\alpha}_{\alpha''})_2 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ C^{\alpha}_{\alpha' n} &= (C^{\alpha}_{\alpha''})_n \end{aligned}\right\}. \tag{2.36}$$

Так как для каждых из базовой компоненты или СС соответствующая им матрица соединений полностью определяет их основные характеристики, а скелет динамической характеристика компоненты или СС полностью содержится в тензоре преобразования C, то можем сказать, что уравнение (2.30) полностью определено как для отдельных компонент, так и для СС в целом.

Рассматривая задачи соединения свойств связности компонент СС (континуальная составляющая подпространства-структуры) нам необходимо решать уравнения (2.28), (2.30), (2.32), чтобы ответить на следующие вопросы:

1. Существует ли разбиение СС на функциональные модули или готовые изделия?

2. Каково число функциональных модулей в СС, т.е сильно связных компонент?

3. Каков набор электрических проводников, соединяющих компоненты функционального модуля?

4. Каков электрических проводников, соединяющих функциональные модули СС?

5. Каково разбиение на электрические цепи, подлежащие контролю и испытаниям?

Для решения уравнений (2.28), (2.30), (2.32), необходимо получить информацию о достижимости и контрадостижимости, которые могут быть выражены через матрицу достижимостей $R = [r_{ij}]$, определяемую следующим образом:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } x_j \text{ достижима из } x_i, \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \qquad (2.37)$$

и матрицу контрадостижимостей $Q = [q_{ij}]$, которую можно построить так:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если из вершины } x_j \text{ можно достигнуть вершины } x_i, \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \qquad (2.38)$$

В то же время для определения функционального модуля необходимо найти $R(x_i) \cap Q(x_i)$ – множество таких компонент (вершин), каждая из которых принадлежит, по крайней мере, одному пути (цепи), идущему от $x_i$ к $x_j$. Матрицы $[r_{ij}]$ и $[q_{ij}]$ являются полными в том смысле, что на длины пути (цепи) от $x_i$ к $x_j$ не накладываются никакие ограничения.

Прежде чем перейти к решению перечисленных выше задач, уточним понятие функционального модуля. Это понятие строится на понятии сильной компоненты графа. Тогда функциональным модулем будем называть максимально сильно связный подграф $G'$ (состав компонент $A_i$ и структура связей $\sigma$) графа ИССМ (состав компонент $A$ и структура $A(\sigma)G$).

Решение этой задачи предполагает последовательное удаление из графа СС G = ($A^0$, $F$) множества, определяемое как пересечение $R(A_i) \bigcap Q(A_i)$, где $A_i$ (вершина $x_i$) множество компонент функционального модуля, которое строится с использованием соотношений из (3.38)

$$R(x_i) = (x_i) \bigcup \Gamma^1 (x_i) \bigcup \Gamma^2 (x_i\} \bigcup \ldots \bigcup \Gamma^p (x_i) \qquad (2.39)$$

или

$$Q(x_i) = \{x_i) \bigcup \Gamma^{-1} (x_i) \bigcup \Gamma^{-2} \{x_i\} \bigcup \ldots \bigcup \Gamma^{-p} (x_i). \qquad (2.40)$$

Тогда каждый функциональный модуль будет определяться соотношением, предложенным для уравнения фундаментального объекта

$$G'(A_i) = \{A^0 - RA_i) \bigcap Q(A_i)\}, \qquad (2.41)$$

а процедура выделения функциональных модулей G′ будет повторяться до тех пор, пока СС и ее граф G не будет преобразован в новый граф, вершинами которого будут функциональные модули, а дуги между ними будут определять набор строп, их соединяющий. Однако, несмотря на простоту предложенного метода решения поставленной задачи, в приложениях теории представлений СС будет использован матричный метод определения функциональных модулей объекта, где непосредственно используются матрицы mat R и mat Q, определенные выше. Поэлементным умножением mat R и mat Q получим mat [mat R⊗mat Q], каждая строка которой содержит единицу только в тех столбцах $x_j$, для которых выполняется условие взаимной достижимости. Тогда сильная компонента графа СС объекта G будет содержать те и только те вершины, которым идентичны соответствующие им строки (или столбцы) в mat [mat R⊗mat Q]. Следовательно, вершины, которым соответствуют строки, содержащие 1 в столбце $x_j$ , образуют сильную компоненту графа СС G, т.е. множество вершин этой сильной компоненты, содержащей $x_j$. Из этого определения следует, что преобразовывая mat [matR⊗matQ] путем транспонирования строк и столбцов в блочно-диагональную, получим набор диагональных подматриц, каждая из которых соответствует сильной компоненте СС G.

Итак, структура функциональных моделей СС и пространства соединений, которое ими заполнено, а также структура связей в теории представлений определяются из самосогласованных решений уравнений (2.28), (2.30) и (2.32) на базе описания конкретной ЧЧ с помощь. системы уравнений фундаментально1 СС (2.33). Эти функциональные модули и связанные с ними подмножества вершин (компонент или соединений) описывают важные структурные свойства графа СС и имеют разнообразные непосредственные приложения при определении оптимального уровня специализации и дифференциации, реализации принципа параллельности (одновременности) выполнения операций изготовления, концентрации этих операций при проектировании бортовых комплексов оборудования воздушных судов по условиям технологичности и технологических процессов изготовления, контроля и испытаний.

Решение системы уравнений позволяет ответить на вопросы, поставленные выше, которые существенно связаны с формированием СС и описывают реализацию поэтапных изменений как процесс решения ЗП.

Под процессом решения ЗП или эквивалентным ему понятием процесса проектирования (ПП) будем понимать совокупность последовательно меняющихся состояний задачи, а значит, и моделей объекта проектирования, рассматриваемых в прямой связи с действиями, реализующими эти изменения.

Содержание и характер процесса решения ЗП описаны в ряде исследований, где отмечается, что проектирование – это слабоструктурированный процесс, в котором выделяют два (внешнее и внутреннее проектирование) или более подпроцессов (этапов, стадий). Указывается, что начальная стадия или этап ПП – постановка ЗП, формирование технического задания на разработку объекта, а конечный подпроцесс – оформление комплекта технической документации, необходимой и достаточной для изготовления или реализации объекта в

производственных условиях (формирование продуктивной модели ОП). Отмечается, что в ПП сочетаются две тенденции: генерация потенциальных альтернатив, возможных вариантов решения ЗП и усечение их выявленного множества путем сопоставления и другими способами оценки, включая исследование и испытание натурных моделей и опытных образцов объекта. В ПП широко используется последовательная редукция сложности решаемой задачи, т.е. производится поиск результатов, являющихся промежуточными и вспомогательными для достижения конечных целей. 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.

Методически удобно на базе найденного решения о структуре пространства соединений получить заданную структуру связей на нем, что будет соответствовать самосогласованию основных уравнений СС и их устойчивой структуры, полученное преобразованиями пространства соединений.

Таким образом:

1. Предложенный математический аппарат является эффективным инструментом анализа проблем формализации представления СС и действий над ними.

2. Предложенное уравнение фундаментальной обобщенной СС позволяет эффективно решить задачи, возникающие на различных этапах производства этих СС.

3. Определена последовательность формирования моделей в процессе проектирования.

# ГЛАВА 3. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Анализ объектов ТОиР для оценки их технического состояния относится к числу основных этапов формирования исходного множества диагностических признаков, лежащих в основе построения программ контроля и диагностики. Комплексная задача оценки технического состояния объектов ТОиР включает построение тестов $T_к$, т.е. последовательности входных векторов $X_{к1}$, $X_{к2}$, …, $X_{кs}$ воздействий на объект и получения соответствующих выходных векторов $Z_{к1}$, $Z_{к2}$, …, $Z_{кs}$, несущих данные о реакции объекта, в которых содержатся данные диагностического тестирования (результат тестирования), необходимые для оценки его состояния.

Как правило, объекты ТОиР ЛА являются сложными объектами, поэтому для оценки их состояния и, как следствие, о наличии или отсутствии неисправностей требуется последовательности диагностических тестов $T_{ks}$ , где индекс s характеризует его длину, а разрешающая способность этой последовательности связана с объемом выдаваемой ею информации. Обработка этой информации (данных диагностического тестирования) позволяет, с одной стороны, оценить состояние объекта ТОиР, а с другой - обнаружить неисправность, т.е. указать место неисправности с достаточной точностью, чтобы произвести ремонт. Обе задачи решаются на базе исходного множества диагностических признаков для объекта.

Рассмотрим внешнюю сторону процедуры «ручной» обработки данных диагностического тестирования для оценки состояния объекта. Эта оценка или несколько оценок, определенных на основе существующих процедур, является результатом диагностического тестирования, который позволяет специалисту выносить суждение о состоянии объекта, с помощью

упреждающих технологий делать определенный прогноз на будущее и давать те или иные рекомендации по его ТОиР.

Описанная процедура преобразования результатов тестирования в диагностических показателях лежит в основе большинства диагностических тестов. Но уже за этой внешне простой измерительной процедурой стоит кропотливая работа специалиста по созданию диагностического теста, связанного с получением и трудоемким анализом экспериментальных данных.

В работе специалиста по оценке состояния объекта можно выделить три основных этапа.

На первом этапе специалист по диагностике, исходя, главным образом, из теоретических представлений о диагностируемом объекте, формирует «черновой» вариант теста, включающего задания, т.е. набор входных воздействий, реакции на них, отражающие состояние оцениваемого объекта (конструкта). Этот этап является трудно формализуемым. Поэтому в рамках этого раздела будут рассмотрены общие рекомендации по формированию исходного множества диагностических признаков.

На втором этапе исследователь выбирает диагностическую модель и определяет ее параметры. Под диагностической моделью понимается способ компоновки (преобразования, агрегирования) исходных диагностических признаков (вариантов реакций на задания теста) в диагностический показатель. Таких способов может быть бесконечное множество. Первичным материалом для нахождения параметров диагностической модели являются данные экспериментального обследования «черновым» вариантом диагностического теста репрезентативной выборки контролируемых объектов. Результаты обследования сводятся в таблицу экспериментальных данных типа объект - признак. Основными категориями, характеризующими структуру экспериментальных данных и использующимися для определения различными методами параметров диагностической модели, служат

категории сходства и различия строк и столбцов (объектов и признаков) таблицы экспериментальных данных. Так как экспериментальная информация имеет специфический характер, в настоящем разделе часть внимания уделена описанию этой специфики и особенностям применения разнообразных мер сходства и различия объектов и признаков.

Для определения параметров диагностической модели используются две стратегии эмпирико-статистического анализа данных.

Первая стратегия основывается на критерии автоинформативности экспериментальных данных, который подразумевает, что диагностическую модель можно непосредственно определить путем аппроксимации геометрической структуры множества объектов в пространстве исходных признаков, не прибегая к сведениям об эмпирических (внешних) отношениях исследуемых объектов, а опираясь только на числовые отношения сходства и различия объектов и признаков. Хорошую линейную диагностическую модель (линейную аппроксимацию) удается построить, когда значительная часть исходных признаков отличается высокой взаимосвязанностью (внутренней согласованностью) и остальные признаки не могут конкурировать с этим согласованным влиянием на структуру данных. Если внутренняя согласованность обусловлена отражением требуемого технического конструкта, то параметры линейной диагностической модели (веса признаков) дает метод главных компонент. Если в множество исходных признаков входят несколько групп взаимосвязанных признаков, то одну или сразу несколько диагностических моделей можно получить, используя методы факторного анализа. И, наконец, полезные практические результаты дает метод контрастных групп, в котором используется эффект повышения внутренней согласованности «черновой» версии линейной диагностической модели. Все указанные методы с той или иной степенью подробности рассмотрены в настоящем разделе.

Вторая стратегия определения параметров диагностической модели основана на привлечении и активном использовании дополнительной обучающей информации о диагностируемом свойстве исследуемых объектов. Критерии, по которым формируется обучающая информация, называются критериями внешней информативности или внешними критериями. Главными представителями методов, опирающихся на внешние критерии, являются методы регрессионного и дискриминантного анализа. В данном разделе описываются типы и способы получения обучающей информации, а также приводятся необходимые сведения о классическом линейном регрессионном и дискриминантном анализе. Эти сведения расширены рассмотрением различных модификаций указанных видов анализа, применяющихся в диагностике с учетом специфики экспериментальных измерений. Кроме того, отдельный подраздел посвящен построению кусочно-линейных диагностических моделей, которые реализуются в так называемом типологическом подходе.

На третьем этапе разработчик теста проводит стандартизацию и испытания построенной диагностической модели. В последней части раздела описаны способы получения стандартизированных диагностических оценок и рассмотрены основные характеристики диагностических тестов, подвергающиеся испытанию и отражающие качество разработанного инструмента диагностики.

Автоматизация решения этих задач существенно связана с разработками основ теории конструирования диагностического теста объекта технического обслуживания и ремонта.

При формировании исходного множества признаков («чернового» варианта диагностического теста) специалист располагает большой свободой. Если по своей внешней форме эксперимент укладывается в определенную классификационную схему и сравнительно нетрудно отдать предпочтение тому или иному классу диагностических методик, то выбор

конкретного вида стимулирующих воздействий на объект и алфавита регистрируемых реакций практически ничем не ограничен. В то же время, изучая какой-либо аспект многомерного взаимодействия человека с диагностируемым объектом, нельзя заранее точно предугадать, что выбранное множество стимулов и регистрируемых реакций будет в достаточно полной мере отражать все многообразие проявлений тестируемого свойства и обеспечит инвариантность теста по отношению к широкому кругу посторонних факторов. Поэтому формирование исходного множества диагностических признаков является трудно формализуемой задачей и для ее решения можно предложить лишь общие рекомендации.

Первым очевидным шагом является самый тщательный анализ предмета тестирования, теоретического конструкта, положенного в основу тестируемого свойства, и его взаимоотношений с другими техническими конструктами. Конечным шагом такого анализа должно быть четкое вербальное определение исследуемого понятия и расчленение его на основные части [1].

Следующим шагом при конструировании нового теста является разработка тестовых заданий набора входных воздействий. Для этого, прежде всего, устанавливается иерархия ранее выделенных частей конкретного объекта. Затем непосредственного формулируются тестовые наборы - входные векторы и проводится качественный анализ степени соответствия пропорций представленности элементов измеряемого свойства в этих тестах. В целом разрабатываемая система исходных признаков должна удовлетворять следующим требованиям [1, 2]:

1) Полнота описания. Система исходных признаков должна охватывать все выделенные аспекты измеряемого понятия.

2) Экономичность описания. При разработке системы признаков следует избегать излишнего объема исходной информации, который может

затруднить дальнейший эмпирико-статистический анализ параметров диагностической модели.

3) Четкая структурированность системы признаков. Признаки должны группироваться, относительно равномерно описывая все стороны измеряемого явления.

4) Количественная определенность отбираемых признаков. Эта определенность требуется для проведения эмпирико-статистического анализа. Признаки должны быть выражены в номинальной, качественной или количественной шкале.

Приведенные требования не являются исчерпывающими. При конструировании тестов большое внимание должно уделяться приемам уменьшения систематической ошибки тестирования. В целом можно сказать, что формирование исходного множества признаков при конструировании нового диагностического теста является трудоемким и тонким понятием, требующим от специалиста - по диагностике разносторонних и глубоких профессиональных знаний, а также зрелого опыта и развитой интуиции.

На практике чаще встречается другой подход к решению задачи формирования исходных признаков, в котором такими признаками выступают элементы известных тестов. Возможно заимствование отдельных элементов у ранее апробированных тестов, составление нового теста из частей известных методик и использование в качестве исходного множества признаков полного набора тестовых заданий многомерных диагностических методик.

Преимущества первого подхода, где конструируется полностью новый тест, заключается в том, что в нем максимально учитывается специфика конкретной диагностической задачи, находящая свое выражение в более целенаправленном подборе тестовых стимулов, формулировке отдельных тестов - и их наборов, использовании терминологии, характерной для изучаемой прикладной области и т.п. В то же время реализация этого

подхода сопряжена со значительными усилиями в теоретической проработке, как общей концепции теста, так и множества частных деталей. Второй подход не обладает гибкостью первого подхода, но позволяет избежать необходимости решения многих частных проблем, так как опирается на уже апробированную исходную структуру известных тестов. Основанием для его широкого использования служит скрытый потенциал многомерных диагностических тестов, отражающих широкий диапазон различий, который может быть развернут относительно нового контролируемого концепта.
Определив исходное множество признаков, специалист получает «черновой» вариант будущего диагностического теста. Дальнейшая отработка этого варианта основывается на эксперименте и анализе его результатов.

Представление информации о структуре экспериментальных данных посредством матриц связей признаков S и близостей (удаленностей) объектов D служит промежуточным звеном в процессе построения диагностических моделей различного типа.

Информативность данных существует только по отношению к применяемому типу диагностической модели, выбор которой, в свою очередь, определяется техническими ресурсами и теоретическими представлениями конкретных специалистов.

В диагностике сложных объектов превалируют линейные модели, в которых результирующий показатель представляется в виде взвешенной суммы исходных признаков.

Распространенность линейных моделей объясняется, прежде всего, их наибольшей простотой, понятностью и «удоборешаемостью», позволяющей, в частности, вручную обрабатывать результаты тестирования.

С математической точки зрения развитие диагностики происходит в направлении отказа от линейных моделей. Но, несомненно, они всегда будут иметь большое прикладное значение благодаря лаконичности и хорошей интерпретируемости.

Ниже при рассмотрении того или иного метода определения параметров линейной диагностической модели будут использоваться различные термины, но, как указывалось выше, глобальным атрибутом для разграничения этих методов является привлечение или не привлечение критерия внешней информативности.

## 3.1 Методы построения диагностических тестов

Внутренняя согласованность заданий теста является важной категорией методов, опирающихся на критерий автоинформативности системы признаков. Согласованность измеряемых реакций объектов ТОиР на тестовые стимулы означает то, что они должны иметь статистическую направленность на выражение общей, главной тенденции теста.

На приведенных представлениях базируются практически все методы построения диагностических тестов, опирающиеся на критерий автоинформативности системы признаков и использующие категорию внутренней согласованности заданий теста.

Значительный интерес для ТО и Р представляет метод главных компонент. Метод главных компонент (МГК) был предложен Пирсоном в 1901 году и затем вновь открыт и детально разработан Хоттелингом. Ему посвящено большое количество исследований, и он широко представлен в литературных источниках, обратившись к которым можно получить сведения об МГК с различной степенью детализации и математической строгости.
МГК осуществляет переход к новой системе координат в исходном пространстве признаков.

Алгоритмы, обеспечивающие выполнение метода главных компонент, входят практически во все пакеты статистических программ.

В описанном выше методе главных компонент под критерием автоинформативности пространства признаков подразумевается, что ценную

для диагностики информацию можно отразить в линейной модели, которая соответствует новой координатной оси в данном пространстве с максимальной дисперсией распределения проекций исследуемых объектов. Такой подход является продуктивным, когда явное большинство заданий «чернового» варианта теста согласованно «работает» на проявление тестируемого свойства и подавляет влияние иррелевантных факторов на распределение объектов. Также положительный результат будет получен при сравнительно небольшом объеме группы связанных информативных признаков, но при несогласованном взаимодействии посторонних факторов, под влиянием которых не нарушается однородность эллипсоида рассеивания, и лишь уменьшается вытянутость распределения объектов вдоль направления диагностируемой тенденции.

В отличие от метода главных компонент факторный анализ основан не на дисперсионном критерии автоинформативности системы признаков, а ориентирован на объяснение имеющихся между признаками корреляций. Поэтому он применяется в более сложных случаях совместного проявления на структуре экспериментальных данных тестируемого и иррелевантного свойств объектов, сопоставимых по степени внутренней согласованности, а также для выделения группы диагностических показателей из общего исходного множества признаков.

В заключение рассмотрим типологический подход.

С позиции формального математического аппарата прогностика и диагностика имеют много общего. И в том и в другом случае испытуемый объект описывается набором чисел ($p$-мерным вектором признаков), точно так же испытуемому объекту ставится в соответствие значение некоторого критериального показателя $z$ и задача состоит в том, чтобы построить математическую модель, имеющую максимальную корреляцию с $z$ или дискриминирующую испытуемых подобно $z$. Конечно, чем продолжительнее временной интервал, на который распространяется прогноз, тем с более

серьезными трудностями сталкивается исследователь при определении критериального показателя и тем сложнее может оказаться структура модели. Но, так или иначе, в данном изложении не будет проводиться граница между понятиями прогностики и диагностики, и внимание будет сконцентрировано большей частью на феноменологии процедуры обработки экспериментальных данных, получившей название типологического подхода. Целесообразность применения типологического подхода обусловлена недостаточной эффективностью линейных диагностических моделей.

В условиях неоднородности обучающей выборки линейные диагностические модели должны смениться нелинейными. Однако решение задачи построения нелинейных моделей затруднено из-за отсутствия априорных сведений о виде искомых функций. В таких случаях эффективный результат, может быть, достигнут с помощью методов кусочно-линейной аппроксимации. В свою очередь, успешность кусочно-линейной аппроксимации зависит от того, насколько хорошо удается разбить испытуемые объекты на однородные группы, для каждой из которых в отдельности строится собственная линейная диагностическая модель. Это можно рассматривать как индивидуализацию диагностического правила, которая заключается в выборе одной из нескольких функций для каждого испытуемого объекта с учетом его принадлежности той или иной группе.

Таким образом, процедура построения диагностической модели состоит из двух этапов. На первом этапе производится разбиение всего множества испытуемых объектов на однородные группы. На втором этапе для каждой группы вырабатывается линейное диагностическое правило с помощью рассмотренных выше методов линейного регрессионного или дискриминантного анализа. Соответственно процедура собственно диагностики также осуществляется в два приема. Сначала определяется принадлежность испытуемого объекта к одной из ранее выделенных групп, а затем для диагностики применяется требуемая диагностическая модель.

«Слабое звено» данного подхода заключается в трудно формализуемом и нечетком определении понятия однородности группы объектов. Как известно, задаче разбиения объектов на однородные группы отводится значительное место в общей проблематике анализа данных. Методы решения этой задачи носят разные названия: автоматическая классификация, распознавание без учителя, таксономия, кластерный анализ, расщепление смеси и т.д., но имеют одинаковую сущность. Все они в явной или неявной форме опираются на категорию близости (различия) объектов в пространстве признаков.

Эффективность типологического подхода по сугубо формальным соображениям не может быть ниже эффективности обычной линейной диагностической модели, которую можно рассматривать как вырожденный случай кусочно-линейной модели. В то же время кроме практического выигрыша типологический подход имеет определенную теоретическую ценность – он раскрывает взаимосвязь диагностики специфических черт, как группировок признаков и типов, как группировок испытуемых объектов. Идеалом типологического подхода является разработка такого материала, который позволит для каждого отдельного индивидуального объекта выбирать оптимальную диагностическую модель.

Применение типологического метода при конструировании диагностических моделей и их использование в практике существенно связаны с их стандартизацией и испытаниями.

### 3.2 Принципы анализа объектов контроля

Сначала условимся понимать под объектом контроля, в его наиболее простом и очевидном проявлении, любой объект, изучение свойств которого служит средством получения выводов относительно совпадения этих свойств

со свойствами объекта—эталона, представляемого в системе контроля в виде описания — модели.

Основное содержание этого этапа — решение задач представления объектов контроля, т.е, описания этих объектов, которое привело бы к продвижению в понимании принципов функционирования систем «СК-ОК». При этом будем исходить из того факта, что успех формального анализа сложных задач контроля в первую очередь зависит от того, насколько удачно выбраны индикаторы. Например, раскрытие сложной структуры объекта контроля стало возможным потому, что выбран очень эффективный индикатор – электрический ток; есть он - есть цепь, нет его — нет цепи.
Естественно, что контроль сложного объекта подразумевает использование большого количества индикаторов, но они должны быть не независимы, а объединенными иерархически: некоторый «главный» индикатор отражает факт принадлежности компонентов на подмножества, каждое из которых может в свою очередь распадаться на подмножества, о чем должны свидетельствовать показания индикаторов следующего более глубокого уровня и т. д.

Но сколько бы уровней рассмотренная ситуация не понадобилось при решении поставленной задачи отражения ее компонентов в виде высказываний, моделей и т.д., в конечном счете семантику этих высказываний и моделей сводят к конструкции наличия определенных физических свойств, обнаруживаемых у объекта контроля с помощью индикаторов.

Таким образом, задачи анализа объектов или систем для целей контроля и диагностики будем формулировать так: дан объект – найти его свойства. При анализе объектов, представляющих реальные устройства исследования, будем выделять несколько этапов:
сначала соединения реальных элементов объекта контроля и диагностики представляются с помощью тензора соединения С, который можно

представить физически посредством проводников соединяющих различные элементы этого объекта;

тензор соединений $C$ представляется как метатензор $C'$;

вводится в рассмотрение фиктивная «метасеть»;

определяется тензор преобразования «метасеть»;

определяется тензор преобразования тока.

Отметим, что в большинстве задач анализа объекта для целей контроля и диагностики прежде, чем производить действия с объектом, его расчленяют на несколько модулей, что позволяет сложный электротехнический объект разделить на более простые независимые части.

Физическое и аналитическое разделение объектов для целей контроля и диагностики уменьшает размерность задачи анализа, что дает эффективный способ экономии труда, так как это разделение позволяет разбить анализ на несколько шагов и осуществить каждый шаг в отдельности и затем комбинацией отдельных шагов получить комплексный результат.

Вопросы разбиения электротехнического объекта на функциональные модули решены выше. Рассмотрим теперь на конкретном примере (модуль 1) методику анализа объекта для целей контроля и диагностики. Проанализируем принципиальную схему функционального модуля, которая воспроизведена на рисунке 3.1

Основная цель этого этапа исследований в предположении новой процедуры, которая включает одновременный анализ разнообразия электротехнических подобных, но, тем не менее, различных объектов и систем. При этом первым шагом в анализе любого электротехнического объекта или его части является учет связей между элементами объекта, которые могут быть математически представлены тензором соединения $C$.

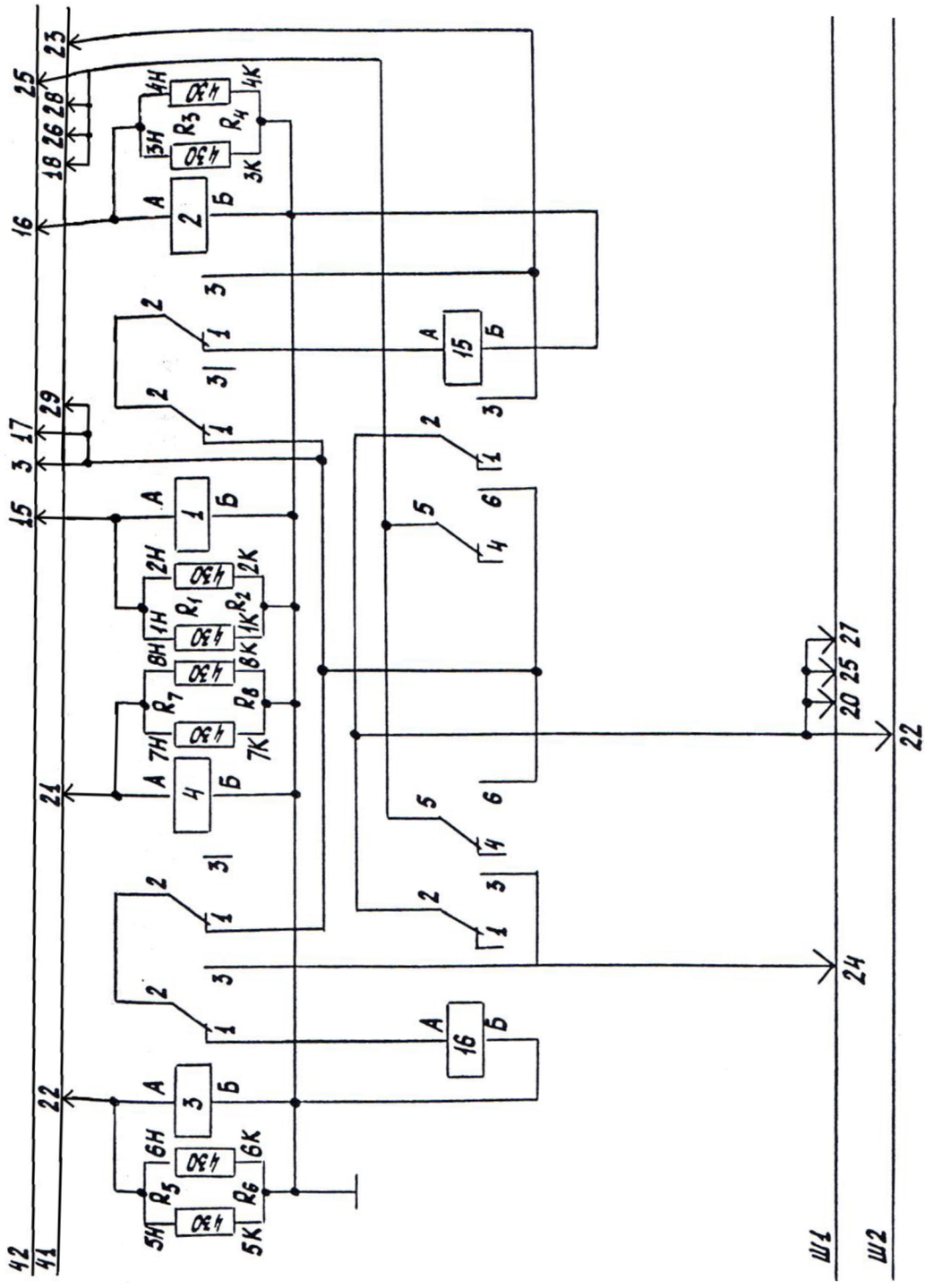



Рисунок 3.1 – Принципиальная схема функционального модуля РК загружателей

Иначе говоря, тензор соединения представляет математическую фотографию схемы соединений.

В частности:

столбцы $C$ перечисляют электрические проводники, связывающие входы или выходы объекта с монтажными точками реальных элементов, а также монтажные точки между собой;

строки $C$ перечисляют наличие электрических соединений монтажных точек с входами или выходами объекта.

Пусть дана принципиальная схема (рис. 3.1) с введенной произвольно нумерацией входов и выходов (клемм разъема Ш1 и Ш2) и монтажных точек реальных элементов объекта (модуля). Тензор соединения С модуля (рис. 3.1) представлен таблицей 3.1.

Первый столбец показывает, что монтажные точки реле *1A* резисторов *R1H* и *R2H* соединены между собой клеммой штепсельного разъема Ш2-15. Второй столбец показывает, что монтажные точки реле *2A* резисторов *R3H* и *R4H* соединены между собой и клеммой штепсельного разъема Ш2-16. Просматривая каждый столбец, мы можем установить электрические связи между всеми монтажными точками рассматриваемого модуля.

Анализ функционального модуля, объекта или системы, представляющего собой подсеть этого объекта или системы, которая не имеет электрической связи с другими подсетями, начинают с установления типа сети. Исследование показало, что наибольший интерес вызывает представление их в виде узловых сетей, так как такая интерпретация дает больше возможностей для операций с ними. Кроме того, понятия, связанные с узловой сетью, лучше соответствуют задачам контроля и диагностики. В тоже время поведение таких сетей может быть векторным уравнением токов узловых сетей:

$$I=YE, \qquad (3.1)$$

разделение которого на n тензорных уравнений, представляющих сеть узловыми парами, дает описание поведения большого разнообразия сетей.

При этом система n тензорных уравнений аналогична сети с n узловыми парами, т. е. некоторую физическую систему:

$$
\begin{aligned}
I^1 &= Y^{11}E_1 + Y^{12}E_2 + \cdots + Y^{1n}E_n, \\
I^2 &= Y^{21}E_1 + Y^{22}E_2 + \cdots + Y^{2n}E_n, \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
I^n &= Y^{n1}E_1 + Y^{n2}E_2 + \cdots + Y^{nn}E_n.
\end{aligned}
\qquad (3.2)
$$

Для физического обоснования системы тензорных уравнений построим абстрактную физическую систему, в которой элементами являются простейшие функциональные модули, входящие в состав функционального модуля объекта или системы. Такую абстрактную физическую систему, в которой простейшие функциональные модули сами являются самостоятельными целостностями, т. е. его элементы включены в сеть связей друг с другом, будем называть, в соответствии с терминологией компанд-системой (компанд-объектом ), а сеть, представляющую эту систему или объект назовем компанд-сетью.

Каждый простейший функциональный модуль в компанд-сети представляет некоторую сеть, которая может быть определена физически, а следовательно, каждый простейший функциональный модуль имеет свой тензор соединения. Компанд-сети вводятся как основное понятие для эффективного анализа объектов, систем или их функциональных модулей, так как оно позволяет описывать поведение сложной сети так же просто, как для простых несложных сетей.

Одной из задач построения компанд-сети является задача функционально разбиения сети объекта, системы или модуля. При этом задача разбиения узловой сети может быть сформулирована как задача разделения узловых пар на мелкие единицы в соответствии с их функцией. Так, например, узловые пары могут выполнять функции входных клемм, к которым подводятся напряжения $E$ или воздействующие токи $I$. В том

случае, когда к некоторым клеммам объекта функционального модуля подсоединяются нагрузки или подключаются цепи системы автоматического контроля, $I$ представляют собой токи в нагрузках или цепях системы автоматического контроля, а $E$- разность потенциалов в нагрузках. Эти узловые пары будем называть выходными клеммами.

Входные клеммы объекта или функционального модуля, как правило, управляемы, т. е. разность потенциалов изменяется по заданному системой автоматического контроля закону. Выходные клеммы этого объекта или модуля подвергаются изменениям: к ним либо подсоединяются различные приборы, либо емкости, индуктивности, резисторы и т. п.

Выходные и входные клеммы могут оказаться постоянно разомкнуты, но, тем не менее, разности потенциалов на них при контроле и диагностике необходимо учитывать обязательно.

Уравнения поведения сети разделяются на столько тензорных уравнений, сколько функционально различных типов пар имеется в сети анализируемого объекта.

В качестве примера рассмотрим узловую сеть функционального модуля, представленного на рис.3.1 и заданного тензором соединения табл. 3.1.

Используя выше введенные понятия компанд—сети, а также законы, уравнения, развитые для обычных сетей, справедливые и для компанд-сетей, но в которых простые величины заменены соответствующими тензорами, а простые тензоры - соответствующими компанд-тензорами, построим компанд-сеть функционального модуля. Для чего произведем физическое разделение исходной сети функционального модуля на простые функциональные модули, каждый из которых сам по себе является сетью. В этом случае действительная сеть состоит из простых функциональных модулей, представляющих собой сети, соединенные либо последовательно, либо параллельно или смешанно.

Разобьем сеть функционального модуля (рис.3.1), заданную тензором (таб.3.1), несколькими последовательно применяемыми способами, исходя из задач контроля и диагностики. В сети имеется 6 реле, 8 резисторов. 8 групп переключающих контактов, 2 штепсельных разъема, соединенных в соответствии с принципиальной схемой. Тензор соединения $C$ этих элементов содержит 52 строки и 26 столбцов. Анализ 1-2,3-4,5-6,7-8 столбцов тензора $C$, показывает, что соединения элементов принципиальной схемы в них идентичны и поэтому могут быть записаны как метатензоры $M$.

Следует заметить, что $M$ содержит шесть строк, т.е. ровно столько строк будет заменено одной строкой. Анализируя строки тензора $C$ можем выделить несколько строк с идентичным строением, замена которых компанд-тензорами позволяет упростить тензор $C$ .

В результате замен в тензоре $C$ , произведенных компанд-тензорами, получим промежуточный тензор $C'$ , представленный в табл.3.2. Продолжая анализ промежуточного компанд—тензора $C'$, мы выделяем связи между отдельными элементами. Анализируя столбцы делаем заключение, что компоненты функционального модуля, исходя из наличия единиц в столбцах промежуточного тензора $C'$, могут быть перекомпонованы, причем единственным критерием оптимального варианта компоновки компонента - является критерий максимально возможного уменьшения расстояния между единицами в одном столбце. При этом не допускается разрыва между компонентами, принадлежащими одному и тому же физическому элементу. Например, представляя из монтажных точек реле, мы будем обязаны переместить вместе с компонентой, которой принадлежит эта точка, и другие компоненты (группа контактов этого реле).

Аналогично, анализируя строки метатензора $C'$, перекомпонуем его элементы таким образом, чтобы расстояние по диагонали между компонентами, находящимися в соседних строках было, как и первом :

Таблица 3.1

C =

| | Ш2-15 ⊥ | Ш2-16 ⊥ | Ш1-21 ⊥ | Ш2-22 ⊥ | Ш2-3 | 17 | Ш1-29 | Ш4-23 | Ш1-24 ⊥ | Ш1-20 | 25 | 27 | Ш2-22 | Ш1-19 | 26 | 28 | Ш2-23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1А | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1Б | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1H | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1K | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| R2H | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R2K | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-1 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 1-2 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 1-3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2А | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2Б | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| R3H | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| R3K | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| R4H | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| R4K | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2-1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 2-2 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 2-3 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 4А | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 4Б | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R7H | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| R7K | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R8H | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| R8K | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 4-1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 4-2 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 4-3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3А | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 3Б | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| R5H | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R5K | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| R6H | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R6K | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 3-1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 3-2 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 3-3 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 15А | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 15Б | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 15-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-2 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 15-3 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 15-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-5 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| 15-6 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 16А | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 16Б | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 16-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-2 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 16-3 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 16-4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-6 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |

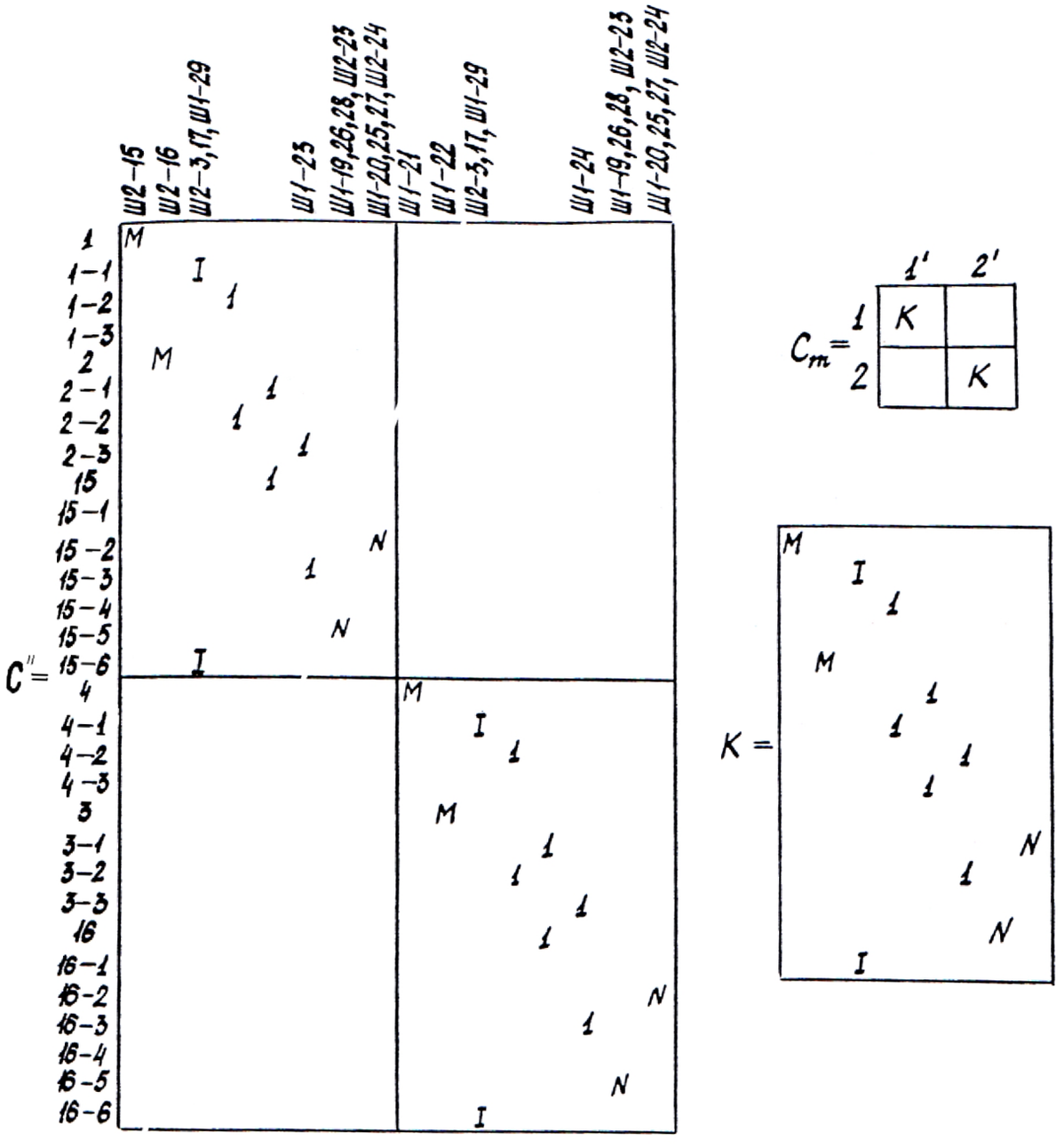
Таблица 3.2

$C^1 =$

| | Ш2–15 | Ш2–16 | Ш1–21 | Ш1–22 | Ш2–3,17, Ш1–29 | Ш1–23 | Ш1–24 | Ш1–20,25,27, Ш2-22 | Ш1–19,26,28,Ш2-23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | M | | | | | | | | |
| 1–1 | | | | | I | | | | |
| 1–2 | | | | | | 1 | | | |
| 1–3 | | | | | | | | | |
| 2 | | M | | | | | | | |
| 2–1 | | | | | | 1 | | | |
| 2–2 | | | | | | | 1 | | |
| 2–3 | | | | | | | | 1 | |
| 4 | | | M | | | | | | |
| 4–1 | | | | | I | | | | |
| 4–2 | | | | | | | 1 | | |
| 4–3 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | M | | | | | |
| 3–1 | | | | | | | | 1 | |
| 3–2 | | | | | | | 1 | | |
| 3–3 | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | 1 | | | |
| 15–1 | | | | | | | | | |
| 15–2 | | | | | | | | N | |
| 15–3 | | | | | | | 1 | | |
| 15–4 | | | | | | | | | |
| 15–5 | | | | | | | | | N |
| 15–6 | | | | | I | | | | |
| 16 | | | | | | | 1 | | |
| 16–1 | | | | | | | | | |
| 16–2 | | | | | | | | N | |
| 16–3 | | | | | | | | 1 | |
| 16–4 | | | | | | | | | |
| 16–5 | | | | | | | | | N |
| 16–6 | | | | | I | | | | |

$$M = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & & & 1 \\ 1 & & & \\ & & 1 & \\ & 1 & & \\ & & & 1 \end{bmatrix}, \quad I = \boxed{1\ 1\ 1}, \quad N = \boxed{1\ 1\ 1\ 1}.$$

Таблица 3.4


Ш2–15
Ш2–16
Ш2–3,17, Ш1–29
Ш1–23
Ш1–19,26,28, Ш2–25
Ш1–20,25,27, Ш2–24
Ш1–21
Ш1–22
Ш2–3,17, Ш1–29
Ш1–24
Ш1–19,26,28, Ш2–25
Ш1–20,25,27, Ш2–24
C'' =
1
1–1
1–2
1–3
2
2–1
2–2
2–3
15
15–1
15–2
15–3
15–4
15–5
15–6
4
4–1
4–2
4–3
3
3–1
3–2
3–3
16
16–1
16–2
16–3
16–4
16–5
16–6
1'
2'
Cm =
K
K =
E1
E2
E3
M1
M2
I1
I2

случае, минимальным. При этом допускается повторение одноименных столбцов, которое позволяет сделать компанд-тензор блочно-диагональным. Для нашего примера, повторив столбцы 5,12,13 получаем блочно-диагональный метатензор $C''$. Разделим этот компанд-тензор горизонтальной и вертикальной линиями на два двухмерных тензора идентичных по структуре. Тогда исходный тензор $C$ может быть представлен в виде квадратного компанд-тензора $C''$ (таб. 3.1), в которой каждая компонента сама есть двухмерный тензор (таб. 3.4).

Таким образом, используя предложенные выше алгоритмы, получим компанд-тензор $C_m$, в которой компоненты имеют ту же валентность, что и исходный тензор $C$. При этом вводятся новые фиксированные индексы 1, 2,1′, 2′, каждый из которых представляет не один вход или выход, а несколько входов или выходов одновременно. Для разнообразия в терминологии эти индексы назовем компанд-индексами. Учитывая равносильность преобразований, можем написать

$$C=C'=C''=C_m.$$

Задачу, возникающую при изучении сетей объектов электротехнического оборудования летательных аппаратов для целей контроля и диагностики можно сформулировать следующим образом: дана сеть конкретного объекта, необходимо установить ее свойства, а именно: прохождение токов через эту сеть.

Первым этапом анализа является установление типов узловых пар объекта. Например, анализ сети функционального модуля показывает наличие девяти узлов, которые в соответствии с введенной выше терминологией разобьем на входные и выходные. Установим количество типовых узловых пар. При этом анализ сетей будем проводить только в терминах активных узловых пар.

Отметим, что входными узлами всегда являются входные узлы реле, контакторов, транзисторов и других активных элементов, выходящие на

контакты штепсельных разъемов объекта, а выходными – их входы. Так, например, для сети нашего модуля входными являются узлы *1А, 2А,3А, 4А,* а выходными – *1Б, 2Б, 3Б, 4Б.* Для разбиения оставшихся узлов будем применять следующий метод рассуждения:

Устанавливаем узел с максимальным весов. Под весом будем понимать количество единиц и метатензоров в столбце. В нашем примере таким является узел Ш2-3, 17, Ш1-29.

Относительно каждой единицы (соединения с данным узлом) или метатензора находим выходные узлы. Для этого в тензоре строим все цепи. Если в цепи встречается коммутационный элемент, переключающий вход на разные выходы, то все узлы, покрывающие данное соединение с выбранным входным узлом, будут выходными.

Рассмотрим этот этап анализа на нашем примере. Первое соединение узла Ш2-3,17,Ш1-29 выполнено на контакте (1-1) реле 1 метатензором *I.* Через нормально замкнутый контакт этого реле 1-2 и электрическое соединение мы попадаем на контакт 2-2 реле 2; нормально замкнутый контакт 2-1 этого реле соединен с обмоткой реле 15, а нормально разомкнутый – с клеммой штепсельного разъема Ш1-23, которая и будет являться активным выходным узлом. Другим выходным узлом будет выход обмотки реле *15Б.*

Анализ полученных узловых пар (входов-выходов) позволяет выделить однотипные узловые пары, которые выполняют одинаковые функции, и тем самым провести этот анализ только однажды для каждого типа узловых пар. Конечный результата анализа будем использовать для каждой конкретной однотипной узловой пары. После установления количества типов узловых пар уравнение поведения (1) функционального модуля или системы в целом разделим на столько инвариантных уравнений, сколько есть типов узловых пар.

Анализ полученных для нашего функционального модуля узлов, позволил выделить четыре типа: входные, выходные, клеммы открытых цепей и неактивные узлы.

Как указывалось выше, неактивные узлы и узловые пары исключаются из уравнения тока. При этом необходимо помнить, что если два узла выбраны как узловые пары, то уравнение тока (1) можно использовать для анализируемой сети без каких-либо изменений.

Рассмотрим узловую сеть (рис. 1), имеющую три типа узловых пар. К первой совокупности узловых пар. К первой совокупности узловых пар (Ш2-15-⊥; Ш2-16-⊥; Ш1-21-⊥; Ш1-22-⊥) приложено комбинированное напряжение $\mathbf{E}_1^*$ ($E_1$, $E_2$, $E_3$, $E_4$) вторая совокупность $\mathbf{E}_2^*$ ($E_5$, $E_6$, $E_7$, $E_8$, $E_9$, $E_{10}$, $E_{11}$) соединяется с командно-логическим устройством системы автоматического контроля, формирующим на них разность потенциалов Ш2-3,17, Ш1-29-⊥; Ш2-3,17, Ш1-29, Ш1-22; Ш2-3,17,Ш1-19-⊥; Ш2-3,17, ⊥ Ш1-29-Ш1-24; Ш2-3,17, Ш1-29-Ш1-19, 26, 28, Ш2-23; Ш2-3,17, Ш1-29, Ш1-20,25,27, Ш2-24-Ш1-23; Ш1-20, 25, 27, Ш2-24-Ш1-24. Как правило, в штепсельных разъемах электросборок имеется определенное количество незадействованных клемм, которые являются постоянно разомкнутыми и не играют роли в задаче контроля и диагностики, но их наличие должно учитываться, так как возможно появление ложных перемычек, перепутываний. Оставшиеся узловые пары $\mathbf{E}_3^*$ ($E_{12}$, $E_{13}$, …) образуют третью совокупность узловых пар.

Таким образом, уравнение токов функционального модуля объекта $I=YE$, содержащее (11+n) обычных уравнений, необходимо разделить на три тензорных уравнения:

$$I^1 = Y^1E_1+Y^2E_1+Y^3E_1+Y^4E_1;$$
$$I^2=Y^5E_2+Y^6E_2+Y^7E_2+Y^8E_2+Y^9E_2+Y^{10}E_2+Y^{11}E_2; \qquad (3.3)$$
$$0= (Y^{12}+Y^{13}+\ldots+Y^n)E_3 ,$$

где $I^1$ , $I^2$ – тензор токов первой и второй совокупностей узловых пар;

$Y^n$ – проводимость узловой пары;

$n$ – число постоянно разомкнутых узловых пар.

Ток $I3=0$. Входным током является $I^1$, контролирующим - $I^2$. Первое тензорное уравнение представляет четыре обычных уравнения, второе - семь, третье – $n$. При этом для нашего примера второе тензорное уравнение может быть сведено к одному, так как формируемая командно-логическим устройством разность потенциалов постоянна, а переходное сопротивление цепи близко к нулю. Узловая компанд-сеть, представленная тремя тензорными уравнениями, показана на рис. 2.

Так как для анализа процесса контроля функционального модуля важны лишь входные $E_1^*$ , $I^1$ и выходные $E_2^*$ , $I^2$ , то переменную $E_3^*$ можно исключить. При этом число тензорных уравнений уменьшается с трех до двух.

Результатом этого исключения является упрощение узловой компанд-сети, которая представлена на рис. 3. При заданном входе $E_1^*$ и выходе $I^2$ можем найти входной ток $I^1$ и разность потенциалов $E_2^*$ или наоборот.

Определим токи через компанд-сеть с учетом соединения отдельных элементов в каждом простейшем функциональном модуле.

Токи в отдельных простейших модулях через известные токи найдем как $i=Ci'$ , где $C$ является тензором преобразования.

Определим теперь способ, с помощью которого отдельные цепи каждого простейшего функционального модуля заменим отдельными тензорами преобразования $C$.

Когда элементы электрической сети соединены последовательно и цепь является замкнутой, то один и тот же ток $i$ течет через каждый элемент цепи, а также соединяющий их проводник. Однако, когда имеют дело с компанд-структурами, представляющими простейшие функциональные модули, то тензоры проводимости цепей можно выразить в различных системах координат, а ток $i$ еще в какой-нибудь системе координат так, что в цепи будет протекать ток $Ci$. Изменение отдельных координатных систем

проявляется как выход тока из компанд-структуры простейшего функционального модуля.

В случае контроля и диагностики электротехнических бортовых устройств и систем самолета ток входит в объект из системы автоматического через электрические разъемы. В этом случае появление тока в простейшем функциональном модуле и выход из него связан с изменением этого тока, т. е. с преобразованием координат с помощью $C$.

Таким образом, ток $i$ приобретает отдельный тензор преобразования $C$ в случае, если он является новой переменной, т. е. если простейший функциональный модуль имеет несколько типов цепей, отличных друг от друга, а также при выходе тока из модуля через электрические разъемы в систему автоматического контроля.

Отметим, что если ток $i$ попадает в компанд-сеть, то выполняются все законы Кирхгофа.

Итак, рассмотрим такие изменения координатных осей, при которых ток $i$ претерпевает изменения $Ci'$ при входе и выходе через электрические разъемы из системы автоматического контроля, а также при выходе тока $i$ из объекта через электрические разъемы в систему автоматического контроля, так как она имеет цепи, отличные от цепей объекта контроля.

Следует подчеркнуть, что после того как тензор определен для одного простейшего модуля, то для всех идентичных модулей он может быть использован автоматически без повторного анализа.

В качестве примера применения этого метода рассмотрим функциональный модуль, содержащий шесть реле (рис. 1). Метасеть, в соответствии с проведенным выше анализом, имеет два простейших функциональных модуля (рис. 2, 3), соединенных в одну общую сеть.

Между первым и вторым простейшими модулями имеется три связи через входы и выходы электрических разъемов (Ш2-3,17, Ш1-29; Ш1-19,26 ,28 Ш2-23; Ш1-20, 25, 27, Ш2-22).

Рассмотрим наиболее важный пример изменения токов, которым является переход тока из системы автоматического контроля в объект контроля.

Если ток в системе автоматического контроля при соединении ее с простейшим функциональным модулем равен $i'$, то ток $i$ в объекте контроля равен $i=Ci'$.

Преобразование $C$ заменяет токи в системе автоматического контроля на токи в объекте контроля. При этом $C$ представляет картину действительных взаимосвязей. Однако, при контроле объектов бортового оборудования летательных аппаратов преобразование может быть различным. В объектах контроля, с одной стороны, обычно обмотки реле соединяют со входами; часто эти соединения выполняются последовательно с контактами других реле иди последовательно с различными компонентами электрических устройств (резисторы, диоды и т. д.). С другой стороны, соединения контактов реле или других элементов начинаются и оканчиваются на электрических разъемах. В этом случае преобразование $C$ учитывает различные соединения входов и выходов объекта контроля. Изменяя преобразование, мы можем описать всевозможные перестановки в токах, которые поступают на вход объекта контроля от системы автоматического контроля. При этом преобразование $C$ может учитывать как сокращение числа цепей, так и их размножение. Выбираем в соответствии с разбиением клемм электрических разъемов на входные и выходные, для исходной схемы простейшего функционального модуля четыре тока: $i^1$, $i^2$, $i^{15}$, $i^4$, проходящих через обмотки реле 1, 2, 15, 4 (рис. 4), которые соединены с клеммами электрических разъемов непосредственно или через контакты других реле, а также ток $i^8$, который будем приписывать простейшим цепям, не имеющих обмоток реле.

Тогда если ток $i'$ проходит через систему автоматического контроля на вход объекта контроля, то через объект контроля должен проходить ток $C_n i' = i$ ,где $C_n$ показывает соединение элементов объекта контроля.

Используя вышеприведенные рассуждения о постоянной и переменной разности потенциалов на входе объекта контроля, а также рассуждения о преобразовании $C_n$, показывающем соединение элементов этого объекта, построим всевозможные комбинации токов, поступающих на вход элементов контроля из системы автоматического контроля, которая позволяет выявить соединения всех элементов объекта и по полученным тензорам соединения дать заключение о правильности выполненного монтажа или неисправностях элементов объекта и ошибках монтажа. Следовательно, если ток $i^1$ определяется токами $i^1$, $i^2$, $i^{15}$, $i^4$, $i^8$ то, учитывая активность входов с токами $i^1$ и $i^2$ и постоянное наличие токов $i^{15}$, $i^8$ и на неактивных входах объекта контроля, можем найти полный оптимальный набор воздействий на вход объекта контроля с целью идентификации состояния объекта.

Решенная выше задача предварительной обработки информации об объекте или системе ЭТО ЛА для целей уменьшения размерности задач проектирования программ контроля позволяет осуществить новую постановку задачи сокращения или оптимизации, а в конечном счете минимизации тестовой информации, объем которой обеспечил бы заданную полноту и глубину диагностирования, а также представление этой информации в форме удобной для реализации алгоритма диагностирования.
Подход, позволяющий решить задачу оптимизации тестовой информации, заключается в способе, с помощью которого отдельные цепи каждого функционального модуля, объекта в целом или системы заменяются отдельными тензорами преобразования. Первым этапом поставленной задачи является этап замены действительной сети функционального модуля на некоторую компанд-сеть. Естественным путем получения компанд-сети является разбиение действительной сети физически на части, каждая из

которых является компанд-компонентой, представляющая собой составную компоненту, которая сама по себе имеет действительную сеть. Например, действительная сеть, представленная на рис.4, может быть заменена на компанд-сеть путем замены реальных компонент (1, *R1*, *R2*, 2, *R3*, *R4*, 4, *R7*, *R8* и т. д.) на компанд-компоненты (1′, 2′, 4′ и т. д.), которая представлена на рис. 5. Такая замена существенно сокращает число компонент. Алгоритм анализа объектов и функциональных модулей, позволяющий осуществить их разбиение на составные компоненты, предложенный выше, является основой автоматизации процессов перехода от действительной сети к компанд-сети. Замена реальных компонент компанд-компонентами изменяет электрические цепи, т. е. с общих позиций систему координат.

Рассмотрим задачи преобразования информации, используемой в процессах подготовки и проведения контроля объектов и систем ЭТО ЛА, по критериям, связанным с дифференциальными и интегральными оценками состояния контролируемых объектов или систем.

В отличие от классических форм задания данных о поведении объектов и систем (в виде дизъюктивной или конъюктивной форм) ниже будет использована терминология компангд-сетей, компанд-токов, введенных выше.

Концепция компанд-сети, компанд-тока предлагает замену обычных числовых значений компонент соответствующими тензорами.

В предыдущем параграфе предложен метод физического разделения исходной сети объекта или системы на функциональные модули, каждый из которых сам по себе является сетью. Таким образом, реальная сеть объекта состоит из составляющих ее сетей функциональных модулей, соединенных в единую сеть объекта или системы. Этот принцип справедлив для представления и анализа всех сложных объектов и систем.

Одной из основных характеристик систем контроля и испытаний является время контроля объекта и поиска неисправностей, которое в значительной

степени определяется длиной тестовой последовательности. Сокращение длины этой последовательности при одновременном сохранении полноты и глубины поиска неисправностей является основой оптимизации процессов контроля и испытаний.

В настоящее время известно значительное число работ, в которых рассматриваются вопросы минимизации и оптимизации объема тестовой информации. Однако, это количество работ не исчерпывает проблемы сокращения тестовой информации, а лишь позволяет поставить ее на более высокий уровень.

Итак, проблема оптимизации тестовой информации может быть сформулирована как проблема замены действительной сети компанд-сетью, при этом, в соответствии с проведенными выше рассуждениями, изменяется система координат, т. е. электрические цепи, вдоль которых текут токи.

Рассмотрим этапы решения проблемы, используя, введенный выше, способ замены электрических цепей отдельными тензорами преобразования $C$. При этом, не теряя общности, будем рассматривать вводимые определения и операции на конкретных примерах.

Отдельные тензоры преобразования $C_m$ , описывающие токи в сети составной компоненты или при выходе его из этой сети будем называть «монтажным тензором».

Введем в рассмотренное определение компанд-клеммы, под которой будем понимать клемму соединения (монтажный узел) нескольких электрических цепей, т. е. узел, в котором ток $i$ претерпевает изменения $Ci$.

Типичным и важнейшим примером компанд-клеммы, изменяющей электрические цепи, в общем случае оси координат, является параллельное соединение электрических цепей на клеммах электрического разъема или другого электрического соединителя модуля или объекта ЭТО ЛА.

Например, для схемы, представленной на рис. 4 и 5, если ток в обмотке реле $I$, резисторах $R1$и $R2$ равен $i$, то ток в общем проводе равен $i=Ci'$, где в

соответствии с рис. 3.2 и выражениями 5, 6, 7 преобразование $C$ заменяет токи в действительной сети составной компоненты на ток в общем проводе. Прежде чем перейти к следующим определениям и операциям, применяемым при контроле и диагностике, отметим следующий известный, но весьма существенный факт: когда обычные компоненты соединяются последовательно, то в этих компонентах течет один и тот же ток.

Однако, когда мы имеем дело с компанд-компонентами, то их монтажные тензоры $C_m$ могут выражаться в различных системах координат, а токи $i$ еще в какой-либо системе осей так, что, например, в первой компоненте будет протекать ток $C_1 i$, во второй – $C_2 i$, а соединяющем их жгуте – ток $C_3 i$. Таким образом, изменение координат в компанд-компонентах проявляется как поступление или выход тока из этих компанд-компонент. Теперь перейдем к формализации этапа неисправностей. Так как при выполнении соединений на монтажных узлах происходит преобразование систем координат, связанных с формированием электрических цепей, то можно предположить, что это преобразование системы координат может быть самым различным, как допустимым, т. е. разрешенным, так и недопустимым, т. н. неразрешенным.

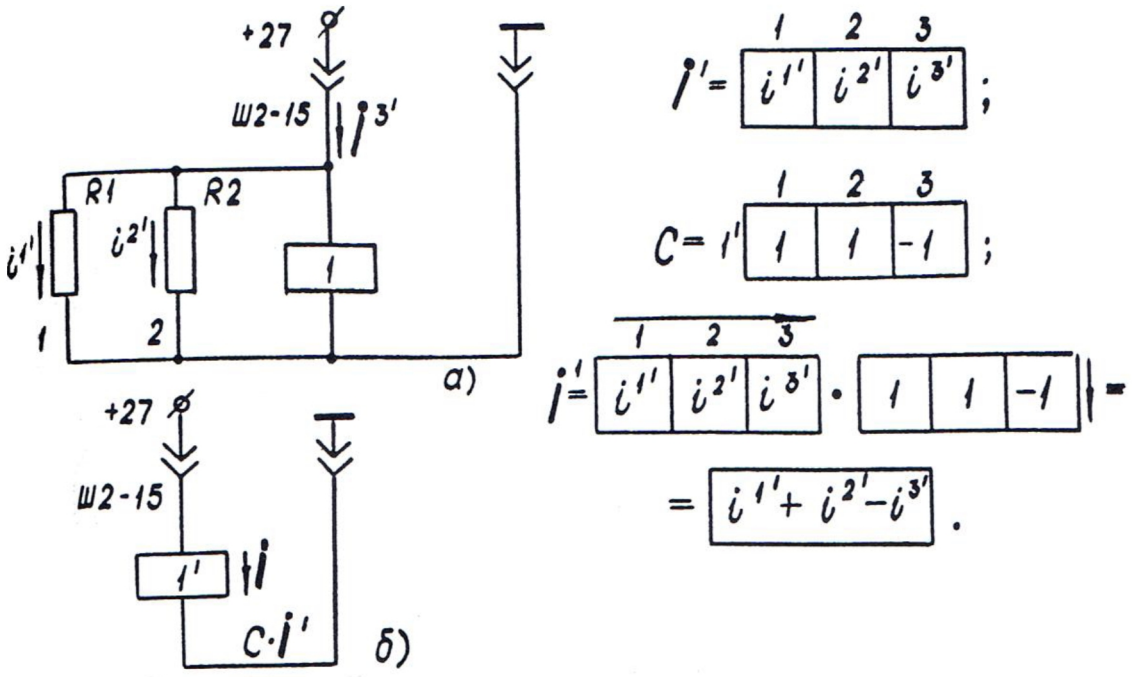



Рисунок 3.2 – Соединение с компанд-клеммой.

а) токи в составной компоненте

б) токи в компанд-компоненте

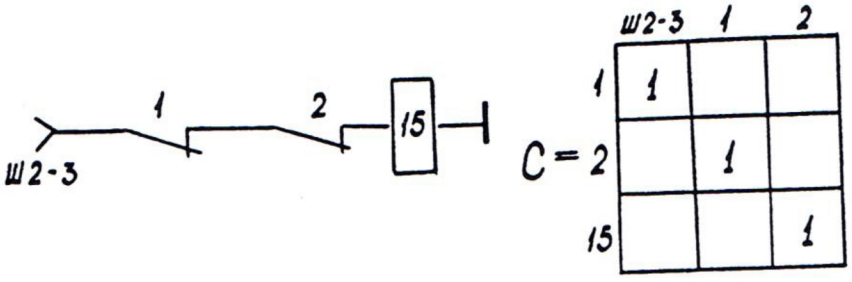



Рисунок 3.3 – Последовательное соединение компонент

В выше приведенных примерах были рассмотрены разрешенные случаи, т.е. монтажным тензором $C_m$ представлялись действительные взаимосвязи. Рассмотрим теперь описание различных типов неисправностей. Опишем наиболее часто встречающиеся ошибки монтажа, к которым относятся различные перепутывания. Примером формального представления

картины действительных взаимосвязей при параллельном соединении компонент является монтажный тензор $C$ (6). Формальное представление картины действительных взаимосвязей при последовательном соединении компонент дает монтажный тензор (рис. 3.3).

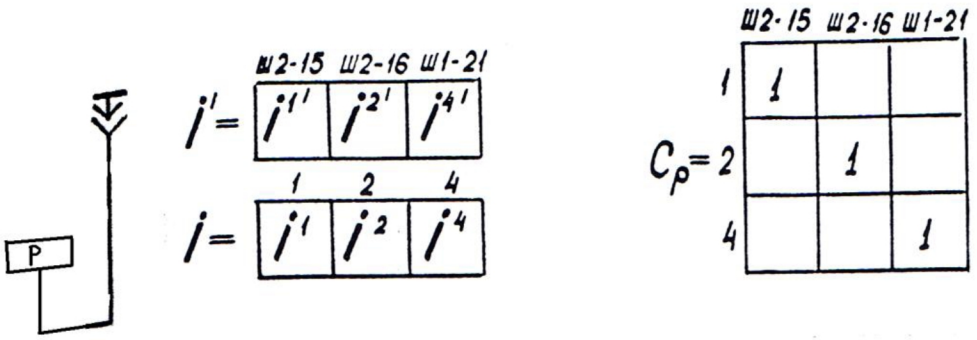
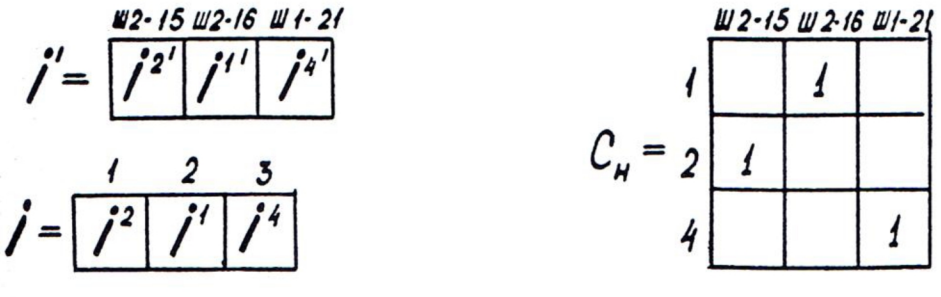



Рисунок 3.4 –Компанд-сеть

Всякое реальное нарушение взаимосвязей вызывает изменение монтажного тензора и, как следствие, токов в контролируемых цепях. В качестве примера описания нарушения действительных взаимосвязей рассмотрим соединении обмоток реле 1, 2, 4 с штепсельным разъмом Ш2 и Ш1 ( рис. 4, 5), компанд-сеть которых представлена на рис. 3.4.

Если через штепсельные разъемы проходит ток $i$, то то через обмотку Р должен проходить ток $C_p i' = i$, где $C_p$ – действительный монтажный тензор.
В случае нарушения действительных взаимосвязей, например, вместо того, чтобы соединить составную компоненту I с клеммой Ш2-15, ее соединяют с клеммой Ш2-16, а составную компоненту 2 с клеммой Ш2-15 вместо Ш2-16, тогда точки и монтажный тензор будут иметь вид (12, 13, 14).



С математической точки зрения перепутывания можно определить как перестановки, т. е. в соответствии с определениями главы 3, $\varphi$ есть перестановка на множестве монтажных узлов $M$ тогда и только тогда, когда $a,в \in M$, $a \neq в$ имеем (а) $\varphi \neq (в)\ \varphi$.

Кроме перепутываний в практике выполнения электрических соединений часто встречаются и два других вида нарушений действительных взаимосвязей – это обрывы и замыкания. Эти виды нарушения могут быть введены сингулярным преобразованием, т.е. преобразованием, сокращающим число электрических цепей или, в общем случае, число осей системы координат.

Рассмотрим более подробно эти случаи нарушений монтажа, при этом будем опираться на приведенные выше примеры (рис.6–8), в которых новые переменные $i'$ выбрались в компанд-компонентах, соответствующих действительной сети, т. е. при отсутствии нарушений монтажа, когда, например, для схемы, представленной на рис. 6, три компоненты тока i′, а именно $i^{R1}$, $i^{R2}$, $i^{P1}$, проходят в тех же компонентах, что и токи $i^{R1'}$, $i^{R2'}$, $i^{P1'}$ в свободной сети, составленной из резисторов $R1$, $R2$ и обмотки реле $P1$.

При обрыве одного из соединений мы получим новое значение, которое будет состоять из токов лишь части компонент, входящих в данную действительную сеть. Таким образом, мы получаем новое значение переменной $i$, которая имеется не во всех компонентах действительной сети. Одновременно это нарушение связей отражается монтажным тензором. Поэтому, как и выше, в компанд-компоненте будет протекать ток $C_0 i' = i$ вместо выбранной переменной $i$, где $C_0$ – учитывает ситуацию обрыва связи или связей.

Другим часто встречающимся примером нарушений монтажа электросборок является закорачивание одной или нескольких связей или замыкание их на корпус в некоторых точках. В этом случае каждое замыкание можно рассматривать как компанд-компоненту, присоединенную

в точках: либо нарушение сопротивления изоляции, либо некачественного выполнения соединений. При этом каждая такая компанд-компонента вводит новую переменную $i_3$, такт как эта компонента вводит в действительную компанд-сеть новый контур. Анализ компанд-сети при наличии в ней замыканий и закорачиваний выполняется точно также, как и любой другой контурной (узловой) компанд-сети. Монтажный тензор $C_3$ для случая замыкания показывает способ для случая соединения компоненты замыкания с действительной сетью.

В качестве примера синтеза тестовой информации для контроля и диагностики рассмотрим сеть функционального модуля, содержащую 4 обмотки реле, 6 резисторов, 5 контактов этих реле (рис. 4).

Компанд-сеть (рис. 5) имеет 6 компанд-компонент.

Итак, пусть задан объект (рис. 1), в число компонент которого входит функциональный модуль (рис.4), связанный в сети с рядом других модулей. Как указывалось выше, функция модуля является одной из частных функций объекта, а совокупность всех частных функций модулей объекта обеспечивает выполнение его общей функции.

Выполняя определенную функцию, т. е. имея вполне конкретный набор связей между компонентами, функциональный модуль находится в одном из своих состояний, входящих в область возможных состояний этого модуля.

Функция модуля в объекте может выражаться в некотором закономерном изменении его состояния при изменении, например, на его входах, полученного в результате приведенного выше анализа электрических цепей, приложенных напряжений $E$ или воздействующих токов $I$. Такая функция будет представлять собой в области возможных состояний подмножество множество состояний. Следовательно, при закономерно изменяющихся состояниях входов функционального модуля, выполняющего свою функцию в объекте, эта функция может быть охарактеризована областью требуемых

функциональных состояний модуля (табл.6), обязательно включающей в область возможных состояний этого функционального модуля.

При этом проблема контроля может быть сформулирована как проблема определения свойств объектов и сравнение этих свойств с заданной областью требуемых функциональных состояний. Для определения этих свойство объектов необходимо создание системы, состоящей из иерархически организованных подсистем, объекта контроля и связей между ними. При этом перестройка системы для контроля различных объектов выражается в изменении структуры связей между подсистемами и объектом контроля. Если объект контроля функционирует в системе, то именно для осуществления своей функции он должен переходить в различные состояния, которые естественно называть функциональными состояниями. Изменяя эти состояния, объект изменяет свои свойства, которые также будем называть функциональными, а имея различные функциональные свойства, он приобретает способность вступать в те или иные, соответствующие этим свойствам взаимодействия с подсистемами системы, т.е. в те взаимодействия, которые и составляют функцию этого объекта.

Воздействие, приводящее объект контроля в определенное функциональное состояние из числа возможных функциональных состояний будем понимать как управляющее воздействие, а процесс комбинирования функциональных состояний этого объекта, путем комбинирования управляющих воздействия – как процесс управления объектом контроля.

Обязательным этапом управления должно быть формирование технологической или вообще операционной программы. Программа соответствует понятию информационной части активного центра системы, моделирующего структуру процесса контроля, как обязательной части всего процесса управления в его целостной динамике. Составление программы контроля производится на основе определенной информации. Для получения этой информации необходимо в первую очередь изучить непосредственные

структуры тех объектов ЭТО ЛА, которые служат ее носителями. Прежде чем перейти к получению необходимой для контроля и диагностики объектов ЭТО ЛА информации, введем ряд новых понятий. Для разработки новых принципов моделирования и долее полной автоматизации процессов контроля и диагностики необходимо кроме известного понятия «алгоритмического количества» информации, которое можно представить как минимальную длину программы, записанную простейшими единицами, ввести понятие качества информации, которое может быть представлено в совокупности признаков, выражающих внутреннюю структурную определенность информации. При этом надо учитывать, что эти качества неодинаковы, более всего это касается тех качеств, которые будем называть «базисными», связанными с важнейшими основами структуры, как совокупности законов, т.е. устойчивого и развернутого выражения сущности объектов.

Рассмотрим решение задачи получения необходимого количества информации, используя предложенные модели поведения объектов и компонент ЭТО ЛА.

Выше для описания функционирования объектов и компонент ЭТО ЛА была использована система n линейных уравнений с $n$ переменными $e=zi$. При этом предполагалось, что все компоненты $e$ и $z$ известны, а все компоненты $i$ неизвестны. Кроме того, в большинстве задач контроля часть компонент e остаются постоянными, а часть изменяют свое значение, часть компонент $i$ могут быть известны, а остальные компоненты $i$, связанные с различного вида неисправностями или монтажными нарушениями (обрыв, ложные замыкания (перемычки, перепутывания), неизвестны. Чтобы учитывать отдельные компоненты объекта в зависимости от электрических цепей, в которые они входят, необходимо заменить инвариантное уравнение несколькими инвариантными уравнениями, так что каждое частное инвариантное уравнение представляет несколько обыкновенных уравнений,

описывающие идентичные электрические цепи, например, Ш2-15, Ш2-16, Ш1-21 (рис. 4).

Если дано единственное инвариантное уравнение объекта, а также осуществлено разбиение объекта на функциональные модули и выполнено разбиение их на электрические цепи, в соответствии с разработанными в этой работе математическими методами, то сравнительно легко решить задачу разделения этого уравнения на несколько инвариантных уравнений.

Важнейшие проблемы контроля и диагностики объектов и систем ЭТО ЛА требуют установления различных инвариантных уравнений и, чтобы решить эту задачу, во всех случаях устанавливаем, в первую очередь, - компанд-уравнение $e=zi$ или $I=YE$, которое потом в соответствии с выполненным разбиением расчленяется на свои, соответствующие каждой электрической цепи, с помощью которых оценивается функционирование этих цепей и их компонент.

Как показано выше, компоненты каждого функционального модуля могут быть представлены тензорами или n-матрицами, а их сочетание компанд – *n*-тензорами или компанд - *n*-матрицами.

Сформулируем метод подхода к решению системной задачи получения информации для контроля и испытаний объектов и систем ЭТО ЛА. При этом под свойством системности в данном разделе понимается не только свойства целостности и расчлененности, интегрированности и вместе с тем выделенности частей с их неоднородностью, разнообразием, дифференциацией.

Для установлений уравнений поведения объекта или системы рассматриваем сеть функционального модуля как совокупность узловых пар (входов и выходов электрических цепей). Число обычных уравнений равно числу узловых пар. Отметим, что разбиение объектов и систем на блоки, функциональные модули, а также инвариантного уравнения на несколько инвариантных уравнений является, как указывалось выше, гибким

инструментом анализа этих объектов, систем любой сложности и синтеза программ их контроля и испытаний.

Прежде чем перейти к математическому представлению объектов контроля и испытаний, уточним понятие инвариантного уравнения. Уравнение, каждый символ которого представляет физический объект (*i, r, z, e*), будем называть инвариантным, т.е. каждый символ этого уравнения соответствует физической сущности.

В качестве универсального понятия в дальнейших рассуждениях используется понятие открытой электрической цепи, представляющей любую электрическую цепь, которая начинается в одном узле и заканчивается в другом, т.е. электрическая цепь может заменять в рассуждениях узловую пару.

В качестве частых понятий представляемой задачи уточним следующие понятия, введенные выше:

«управляющее воздействие» - сигнал определенной величины и физической сущности, сформированный вне объекта контроля и испытаний;

«реакция объекта» - сигнал или сигналы определенной велчины, представляющие собой реакцию объекта на управляющее воздействие.

Итак, в соответствии с разработанной выше методологией определим для рассматриваемого функционального модуля (рис 5.4) физические компоненты: $Y$ – проводимость, $U$ – приложенные напряжения и $I$ – токи в электрических цепях, необходимых для получения уравнений поведения объекта.

Прежде чем перейти к конкретному определению физических компонент для вывода уравнений поведения объекта необходимо сделать следующие принципиальные рассуждения и выводы на базе данных выше определений.

Рассмотрим соотношения между любой бортовой системой и объектами этой системы. Пусть задана система, в число компонент которой

входит рассматриваемый нами объект контроля, связанный в сети с рядом других объектов, образующих окрестностные условия для рассматриваемого объекта, подлежащего контролю. Функция объекта контроля, как указывалось выше, является одной из частных функций системы, и совокупность всех частных функций компонент системы обеспечивает выполнение ее общей функции, баланс внутренних и внешних взаимодействий через связи между объектами.

Выполняя определенную функцию, т.е. имея вполне определенный набор компонент и связей, изменяющихся в пределах, в которых этими изменениями можно пренебречь как не влияющими заметно на свойства системы, объект контроля находится в одной из подобластей своих состояний, входящей в область возможных состояний этого объекта.

Функция объекта контроля в системе может выражаться также и в закономерном изменении его состояния при изменении в системе окрестностных условий этого объекта. Такая функция будет представлять собой в области возможных состояний не одно, а множество значений рассматриваемых зависимых переменных. Таким образом, и при неконтролируемом, и при закономерном изменяющемся состоянии объекта контроля, выполняющего свою функцию в системе, которая не может быть охарактеризована область требуемых функциональных состояний объекта контроля, является лишь частью более широкой области возможных состояний этого объекта.

Представим теперь, что объект контроля как одна из компонент системы вынесен за пределы системы. В результате этой операции рвутся связи, и как следствие, нарушается баланс внешних взаимодействий, т.е. ранее занятые связи превращаются в свободные.

Исходя из этих представлений, системную задачу контроля и испытаний сформулируем как проблему установления области требуемых функциональных состояний объекта контроля вне системы, в которую он

входит. Эта проблема выдвигает ряд вопросов, без ответов на которые невозможно перейти к формированию ответов на уже поставленные выше вопросы синтеза информации для осуществления контроля объектов ЭТО ЛА.

Для того, чтобы решить проблему установления области требуемых функциональных состояний объекта контроля вне системы, компонентой которой он является , прежде всего, необходимо создать модель отсутствующей системы. При этом ясно, что создать ее нужно такой, чтобы ее свойства обеспечивали наличие особой функции ее отношений к объекту контроля: превратившись в функцию связей, она должна восстановить баланс внешних и внутренних связей и их физической сущности, нарушенный вследствие отсутствия других компонент (объектов) системы.

А так как внешние связи, потоки энергии, передаваемые на объект контроля и получаемые с него, материальны, то реализовать их можно лишь из реальных материалов и компонент (электрические провода, коммутаторы и т.д.), которые и составляют материальную основу модели – систему контроля. Для того чтобы компоненты системы контроля обладали способностью поддерживать внешние связи и потоки, необходимо сформировать и поддерживать внутренние потоки и связи, основу функционирования которых составляет информационная часть общей модели системы контроля.

Итак, говоря об условиях, при которых возможно создание системы контроля со свойствами, соответствующими объектам систем ЭТО ЛА, мы должны требовать, чтобы совокупность областей ее возможных состояний включала в себя область возможных состояний контролируемого объекта, которая, в свою очередь, должна включать в себя область требуемых функциональных состояний этого объекта. Дополнительно, необходимо, чтобы наличие определенного диапазона измерения внешних условий функционирования системы контроля приводили лишь к размытию области

требуемых функциональных состояний, не превышающих допустимых пределов.

Определенное многообразие объектов ЭТО ЛА требует широкого диапазона свойств системы контроля этих объектов, т.е. большой универсальности этой системы. При этом каждому объекту при заданных измерениях условий соответствует своя (как правило, лишь частично известная специалисту) совокупность областей возможных состояний, характеризующих свойства этих объектов.

Для выявлении совокупности областей возможных состояний и области требуемых функциональных состояний, как указано выше, необходима технологическая программа управления объектом контроля, которая ориентирует весь процесс на достижение конечного результата, как осознанной цели, которой соответствует информационная модель данного процесса управления.

Организационные действия совершаются не только одной лишь информационной частью активного центра, а всем аппаратом этого центра системы контроля. Он включает, кроме главной, и ряд вспомогательных систем информации, свои внутренние каналы связи, блоки переработки информации, ее приема по обратным связям, т.е. активный центр системы контроля это сложно дифференцированная система в системе, где есть свои градации непосредственного и разнообразных опосредствований, которые и объединены более всего в системах информации.

От других типов действий, выражающих зависимости объекта контроля от других подсистем системы контроля, организаторские функции отличаются, главным образом, использованием систем информации и специфических информационных связей.

Таким образом, для целей синтеза тестовой информации объектов и сложных систем ЭТО ЛА предусматривается использование разработанных методических приемов описания объектов и систем на абстрактном языке

теории их структурного анализа. Кроме того, в соответствии с введенными определениями и понятиями, необходима разработка (на базе представлений объектов и систем, теории, определяющей взаимодействие информационных структур, т.е. систем информации, с помощью которой можно было бы выявить основную организацию системы контроля и возникающие в ней информационные задачи.

Для решения этих проблем проведем исследование этапов формирования систем информации и их использования, которое привело бы к возможности четкого определения тех алгоритмов, которые необходимы для того, чтобы была реализована система контроля. Сложность работы системы контроля в условиях большого разнообразия объектов, подлежащих контролю, заключается в том, что все возникающие частные интерпретации объектов контроля должны быть определенным образом совмещены друг с другом, чтобы в конечном итоге возникла работа определенного алгоритма, приводящего к конечному результату. Основой такого совмещения, как указывалось выше, является базовое понятие сети и языка электротехники в тензорной интерпретации компонент, физических параметров воздействий и законов поведения.

Рассмотрим общий метод решения типовых информационных задач, которые возникают на всех этапах анализа и синтеза систем информации для обеспечения функционирования систем контроля и диагностики. В частности, определения компонент тензора проводимости Y, тензора управляющих воздействий e, тензора реакции объекта I (функционального модуля). Известно, что фундаментальным уравнением поведения всего многообразия объектов и систем ЭТО ЛА является единственное инвариантное уравнение, представляющее систему n линейных уравнений (напряжение *e* или тока *I*), которые могут быть представлены в различных конкретных интерпретациях и использованы для решения многих частных проблем.

Для определения физических компонент объекта контроля необходимо произвести моделирование внешних связей, сутью которого являются уменьшение потенциального многообразия физической интерпретации функционирования отдельных электрических цепей. Примером использования такого моделирования является ввод базисного узла в каждый выход электрической цепи через резистор определенного номинала, если в цепи отсутствуют компоненты, обладающие сопротивлением электрическому току, и без резистора, если в цепи имеются компоненты, обладающие таким сопротивлением.

После такого моделирования, используя законы Кирхгофа, определяем проводимость электрических цепей, подготовленных для взаимодействия с системой контроля. Схема моделирования на основе ввода базисного узла, потенциал которого равен нулю, представлена на рис. 4 резисторами $R_3$, $R_{17}$, $R_{23\text{-}1}$, $R_{19}$, $R_{26}$, $R_{28}$, $R_{23\text{-}2}$, $R_{20}$, $R_{25}$, $R_{27}$. Ввод базисного узла обусловлен результатом разбиения на электрические цепи, выполненной в предыдущем параграфе настоящей главы. Итак, рассмотрим последовательность этапов вывода уравнения поведения функционального модуля.

На первом этапе, используя понятие элементарной и компанд-сети функционального модуля определяют компоненты трех физических величин *i, r, e*.

Согласно с полученным разбиением сети функционального модуля на электрические цепи преобразуем эту сеть в компанд-сеть, заменив компоненты каждой сети на компанд-компоненты с учетом моделирования внешних связей (рис. 5). Значения сопротивления компанд-компонент сети, представленной на рис.5, определим по алгоритму, использующему введенные выше понятия элементарной сети, тензора соединений и уже упомянутые уравнения, записанные в терминах физических величин *i, r, e*. Покажем действия по этому алгоритму на примере определения значения сопротивления компанд-компоненты для цепи Ш2-15.

Пусть резисторы *R1*, *R2* и обмотка реле $R_{P1}$ не связаны между собой (рис. 3.4). Пусть последовательно с каждым из них приложено напряжение и в них протекают токи.

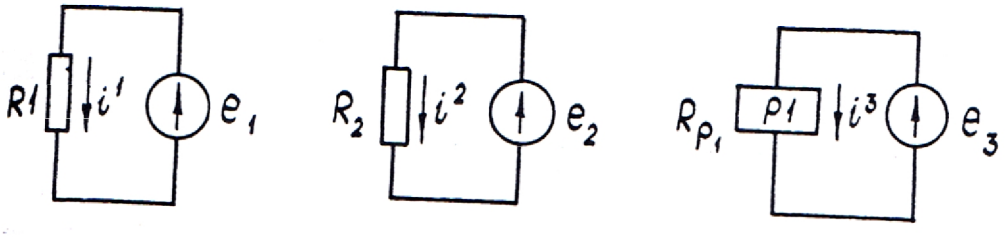
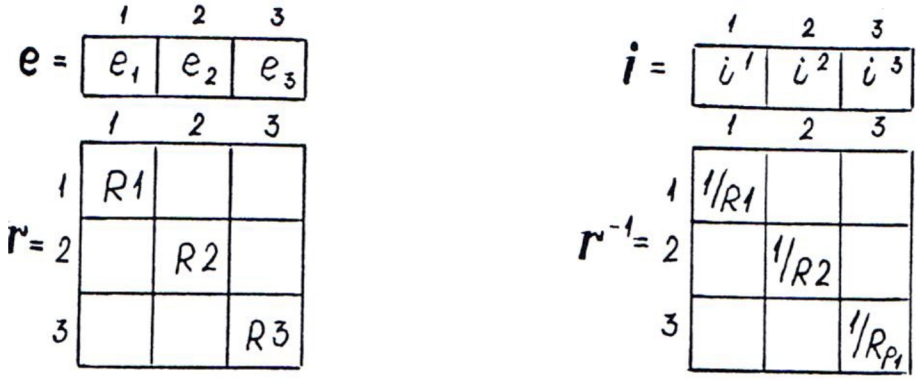



Рисунок 3.4 - Элементарная сеть электрической сети

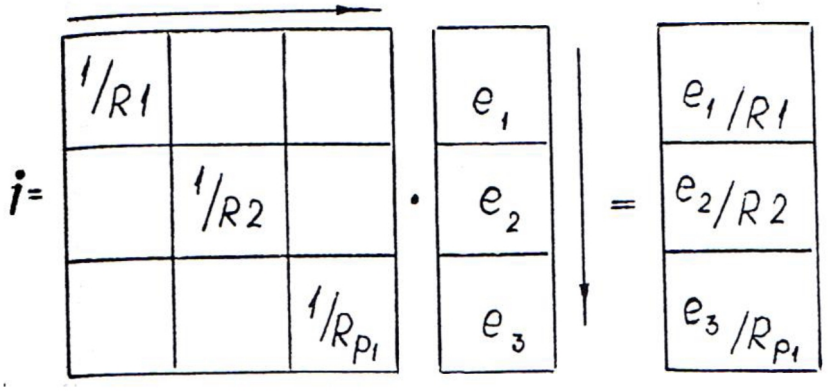
Сеть эквивалентна элементарной контурной сети с тремя контурами, ее уравнения напряжения будут иметь вид:

$$e_1=R1\cdot i^1$$
$$e_2=R2\cdot i^2 \qquad (3.4)$$
$$e_3=R_{P1}\cdot i^3$$

В терминах физических величин *i*, *r*, *e* систему обычных уравнений можно записать следующим образом




Токи определяются из уравнения




Рассмотрим теперь сеть из соединенных компонент, как показано на рис. 5.6а. Дополнительные соединения вводят новые пути токов, кроме того, три приложенных напряжения принимаются равными, т.е. $e_1=e_2=e_3=e$, и соединенными параллельно с компонентами. в связи с таким преобразованием в сети уравнение напряжения может быть выражено через другие токи. Новый ток или в общем случае токи выбирают в соответствии с требованиями рассматриваемой задачи. При этом необходимо выбирать столько новых токов, сколько имеется контуров. Таким образом, поведение электрической цепи (рис. 6,*а*) для нашего примера можно выразить в терминах токов $i^1$, $i^2$, $i^3$. Напомним, что целью проводимого здесь анализа является вывод уравнения реальной взаимосвязанной сети, которое в терминах физических объектов аналогично по форме уравнению элементарной сети, т.е. необходимо определение новых компонент физических величин $e'$, $r'$,$i'$, входящих в уравнение напряжения электрической цепи $e'=r'i'$, соединенных по схеме рис. 6,*а* компонент *R1*, *R2*, $R_{P1}$.

При контроле различных цепей всего множества объектов и систем ЭТО ЛА компоненты $r'$ и $e$ известны, а значение i′ неизвестно.

На первом шаге анализа новой сети (рис.6, *а*) устанавливаем новые переменные, т.е. токи. При этом выбранные токи должны быть независимы, а именно, не должно быть прямых или косвенных зависимостей токов друг от друга. Пусть имеется три тока $i^{1'}$, $i^{2'}$, $i^{3'}$, протекающие в компонентах *R1*, *R2* и

в общем проводнике. Таким образом, поведение взаимосвязанной электрической сети выражается через токи $i^{1'}$, $i^{2'}$, $i^{3'}$. Тогда в соответствии с первым законом Кирхгофа ток $i^{3'}$ (рис. 6,*а*) в обмотке реле *I* равен

$$i^3 = i^{3'} - i^{1'} - i^{2'}. \qquad (3.5)$$

На втором шаге установим соотношение между токами элементарной цепи $i^1$, $i^2$, $i^3$ и $i^{1'}$, $i^{2'}$, $i^{3'}$. При этом старые токи $i^1$, $i^2$, $i^3$ протекают в отдельных компонентах, а новые токи - в любой части сети. Так как токи в компонентах одни и те же до и после соединения, то соотношения получаем в следующем виде:

$$\begin{aligned} i^1 &= i^{1'}, \\ i^2 &= i^{2'}, \\ i^3 &= i^{1'} - i^{2'} + i^{3'}. \end{aligned} \qquad (3.6)$$

В терминах физических величин инвариантное уравнение токов аналогично системе линейных уравнений $e=z\cdot i$, будет иметь вид:

$$\boldsymbol{i} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 \\ \hline i^{1} & i^{2} & i^{3} \\ \hline \end{array} ,$$

$$\boldsymbol{i}' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 \\ \hline i^{1'} & i^{2'} & i^{3'} \\ \hline \end{array} .$$

Тензор преобразования по двум системам координат *C* (1, 2,3 и 1, 2, 3) образован коэффициентами при новых переменных ($i^{1'}$, $i^{2'}$, $i^{3'}$) для нашего примера будет иметь вид:

$$C = \begin{array}{c|ccc} & 1' & 2' & 3' \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & -1 & -1 & 1 \end{array}$$

Матрица (27) показывает соотношение между токами элементарной сети, установление которых представляет тривиальную задачу при заданных e и r, и новой сети с теми же компонентами, но новыми путями токов, введенными дополнительными соединениями этих компонент. Итак, установление соотношения между токами элементарной и реальной сети является базовой в установлении законов поведения реального объекта. При этом всякое физическое изменении структуры цепи отображается уравнением в физических объектах.

Таким образом, возможность совместно исследования всего множества электрических цепей с различной структурой, при котором одновременно используются как уравнения поведения (законы Ома и Кирхгофа), так и структуры цепи, определяемые матрицами преобразования $C$ и $C_t$ (обобщающие формулы тензорного анализа сетей Г. Крона), позволяет эффективно и принципиально по-новому решать задачи контроля и диагностики сложных объектов и систем ЭТО ЛА.

# ГЛАВА 4 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрим систему взаимосвязанных и втекающих один из другого взглядов на системы производства, процессы его функционирования методы, модели их представления.

## 4.1 Системный подход и научные основы синтеза

Системный подход, общим вопросам состояния методологии которого посвящена первая глава, - это общенаучная методология, которая в свою очередь не содержит конкретных средств исследования объектов, а обосновывает и разрабатывает принципы таких исследований, т. е. концепцию.

Концепция, в нашем случае, будет представлять собой систему взаимосвязанных и вытекающих один из другого взглядов на системы производства летательных аппаратов (ЛА), технологические процессы, образующие в целом авиационные комплексы.

С общих позиций комплекс – это совокупность объектов (систем, подсистем, элементов) различной физической природы, объединённых общей целью, но с менее жёсткими, чем в системе организованными связями.

Другим, сформировавшимся ещё в СССР, понятием является авиационное производственное объединение, которое, как правило, представляет собой крупномасштабные системы по производству авиационной техники.

Основные особенности крупномасштабных систем:

1. Значительные затраты ресурсов и времени на развитие систем – заблаговременности инвестиционных мероприятий может составлять несколько лет.

2. Размытость границ – в процессе развития состав элементов системы и характер их взаимосвязи между собой и с внешней средой существенно

изменяются; теория, охватываемая системой, может расширяться от региональных до глобальных масштабов.

3. Тесная взаимосвязь с другими крупномасштабными системами и окружающей средой, инфраструктурность.

4. Комплексный характер управления – необходимость согласования отраслевых, корпоративных и региональных интересов.

5. Грубость и устойчивость – небольшие отклонения в параметрах развития отдельных элементов и их взаимосвязей мало влияют на развитие системы в целом.

6. Другие характеристики сложных (больших) систем.

Крупномасштабность систем обусловлена комплексным использованием ресурсов, сырья и материалов, усилением межотраслевых связей и возрастанием ролей межрегиональных систем.

Крупномасштабная система определяется составом и взаимосвязями управляющих и производственно-транспортных элементов в динамике их развития и функционирования, распределением функций управления по элементам организационной иерархии и заданий по производственно-транспортным элементам.

В тоже время, как указывалось выше, для них и их частей характерны признаки системности: структурированность системы, взаимосвязанность составляющих её частей, подчинённость организации всей системы определённой темы и др.

Все эти признаки характерны в широком и узком смысле для практической деятельности человека. Одновременно осознаётся алгоритмизация любой деятельности. Явная алгоритмизация любой практической деятельности является, с одной стороны, повышением её системности, с другой – важным средством её развития. С общих позиций системность и алгоритмизация взаимосвязаны методологией системного подхода.

Таким образом, системность стала не только теоретической категорией, но и осознанным аспектом практической деятельности. Поскольку большие и сложные системы производства, в частности авиационной техники, по необходимости стали предметом изучения, их структуры управления или их проектирования, потребовалась разработка методологии обобщения методов исследования производственных систем и механизмов воздействия на них, создание обобщённых и специализированных моделей, в рамках прикладного системного анализа. Он включает такие виды деятельности как:

- научное исследование (теоретическое и экспериментальное);

-проектирование новых систем и изменение в существующих системах;

- внедрение в практику результатов, полученных в ходе анализа.

С практической стороны системный анализ есть теория и практика улучшающего вмешательства в проблемные ситуации; с методологической стороны системный анализ есть прикладная диалектика.

Современный период развития авиационной техники характеризуется значительным ускорением темпов принципиальных изменений и усовершенствований конструкции ЛА, появлением высокоэффективных двигателей, разнообразных композиционных материалов и цифрового электронного бортового оборудования.

Перечисленные направления развития авиационной техники иллюстрируют, с одной стороны, их взаимосвязь (методологию системного подхода к характеристикам ЛА), с другой – у каждого из направлений есть своя специфика и проблематика.

Современные самолёты проектируются с учётом особых требований по экономической эффективности, надежности, безопасности, чрезвычайно жёстких условий эксплуатации, повышенного ресурса, комфортности и боевой эффективности. Экономически целесообразным является производство пассажирских самолётов, заданный ресурс которых составляет не менее 50-60 тыс. часов полёта или 25-30 лет эксплуатации.

Интегрированное качество самолётов, определяемое параметрами лётно-эксплуатационных, ресурсных и экономических показателей, во многом зависит от технологии и организации производства этих ЛА. Одной из главных составляющих производственного процесса изготовления ЛА следует считать агрегатно-сборочное производство.

Особенности сборочных работ обусловлены спецификой ЛА как объекта производства:

- многодетальностью конструкции (до 1500-2000 деталей на одну тону массы);

- малой жёсткостью деталей и сборочных единиц (СЕ) из-за больших габаритов и требований по минимизации массы;

- сложностью форм аэродинамических и других поверхностей, высокими требованиями к точности их реализации;

- большим количеством соединений и разнообразием их конструктивного исполнения;

- значительным объёмом ручных операций;

- высокими требованиями к качеству сборки СЕ и изделия в целом.

Сборочное производство является одним из завершающих и наиболее ответственных этапов производства самолётов. Уровень технического и организационного совершенствования сборочного производства, трудоёмкость которого для современного самолёта достигает 40% от трудоёмкости изготовления ЛА в целом, в значительной степени определяет его технологическую себестоимость и основные показатели экономической эффективности самолётостроительного предприятия.

Ведущие мировые производители ЛА, а также компании «второго эшелона», специализирующиеся на изготовлении агрегатов, отсеков и других подсборок планера ЛА, постоянно совершенствуют технологию сборочного производства. Современный уровень развития авиационной технологии создаёт для этого объективные предпосылки:

- возможность создания самолёта в условиях функционирования корпоративной CAD/CAM/CAE – среды, в которой работают предприятия – разработчики, предприятия – изготовители и эксплуатанты;

- наличие на рынке средств технологического оснащения (СТО) авиационного производства, гаммы современного оборудования для автоматизированного изготовления деталей, выполнения соединений и стыковки деталей и подсборок – составных частей планера (СЧ), контроля форм и размеров деталей, СЕ и элементов сборочной оснастки;

- апробированные на практики рациональные формы организации сборочного производства.

Опыт ряда *предприятий*, фирм и компаний показывает, что достижению ими высокого технико-экономического уровня сборочного производства и оптимизации показателя «цена-качество» продукции способствует применение современных версий метода сборки с использованием отверстий в качестве установочных и сборочных баз. Эти версии базируются на перечисленных выше предпосылках и обеспечивают достижение требуемых показателей точности размеров и формы СЕ наряду с минимизацией трудоёмкости и цикла их сборки.

В рамках перечисленных предпосылок одним из главных направлений их реализации является разработка научных основ современного производства ЛА, которое должно включать системный подход ко всем этапам производства: от анализа объекта производства, собственно его состояния, до проектирования технологических процессов.

В рамках системного подхода к производству авиационной техники формализованный этап синтеза и анализа – это теория представления для моделирования целостности и обособленности от среды, состава, структуры и построения структурной схемы системы производства. При этом исследуемая производственная система рассматривается, с одной стороны, как подсистема в системе более высокого уровня (надсистема, суперсистема),

а с другой, - как совокупность образующих её (входящих в неё) подсистем (субсистем) и элементов.

Таким образом, в процессе предлагаемого прикладного анализа и синтеза разрабатывается (проектируется) концептуальная модель («образ») системы производства (СП) (её организация и системно - агрегативные свойства), наилучшим (в определённом смысле) образом соответствующей её задачам; в процессе модернизации уточняются эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ). В основе анализа и синтеза лежат методы синтетического описания процесса производства, построенного в рамках точного формализма тензорного анализа, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа образов СП.

Рассмотрим формирование автором методологической концепции анализа и синтеза систем производства авиационной техники.

## 4.2. Основные принципы прикладного синтеза объектов и систем

Системы авиационного производства состоят из отдельных хозяйствующих субъектов, связанных структурой сложных отношений. Сами хозяйствующие субъекты включены в технологические цепочки, сети, обладающие сложной структурой. С развитием технологий меняется не только содержание процессов, но и структуры связей. Изменение структуры связей оказывает наибольшее воздействие на состояние экономических, технологических, технических систем.

Знание законов изменения процессов при изменении структуры необходимо для исследования функционирования, проектирования, управления, прогнозирования развития СП АТ.

Сложные системы различных областей науки, техники отличаются настолько, что для каждой из них принято разрабатывать свои методы исследования и расчета. Вместе с тем у них немало общего. Все технические

системы состоят из элементов, обладающих теми или иными материальными свойствами; соединения элементов образуют структуру. Воздействия на систему вызывают в ней отклики, которые зависят как от величины воздействий, так и от параметров материи, «сопротивления» элементов. В системе возникают процессы. Под процессами, как правило, будем понимать потоки энергии, которые передаются и преобразуются в элементах системы, меняются при изменении структуры связей элементов системы.

Для решения задач системного синтеза и анализа, проектирования и управления, в особенности для управления модернизацией СП, необходим общий метод расчета изменения процессов при изменении структуры системы. Вместе с тем математическое моделирование и анализ процессов, и математическое моделирование и анализ структуры производятся в разных областях математики. Одно направление математики представляет материальные, метрические отношения между элементами, но не рассматривает структуру связи между ними. Другое направление представляет структуру, связи между элементами, сетевые структуры, однако не касается процессов в системах, т.е.воздействий и откликов, метрических отношений, их динамики при изменении структуры.

При математическом моделировании состояния и поведения системы, уравнения(алгебраические, дифференциальные, интегральные), которые описывают процессы, составляют для заданной структуры соединения элементов. В обобщенном виде методы решения этих уравнений связаны с теоретико-множественной топологией метрических пространств. Эти уравнения определяют расчет отклика материи элементов (метрические параметры) на воздействия (энергетические). Они не содержат описания структуры связей. При изменении структуры связей уравнения состояния надо получать и решать заново.

При математическом синтезе структуры СП, конфигурацию и связи элементов в этой сложной системе формальных позиций представляют

симплексы, комплексы, замкнутые и разомкнутые пути. Структурные методы представления сложных объектов связаны с комбинаторной топологией, они не содержат понятий метрики, т.к. не определена мера – расстояние между циклами, разрезами, симплексами.

Таким образом, методы теоретико-множественной топологии описывают процессы, ноне структуру, а методы комбинаторной топологии описывают структуру, но не процессы сложных систем. Для системного синтеза и анализа и управления системами необходим метод, который объединяет процессы и структуру сложных систем. Оказалось, что это возможно выполнить на основе применения тензорного метода исследования сложных систем, предложенного Г. Кроном [4].

Состояние системы, параметры откликов в элементах, которые характеризуют это состояние, могут меняться при изменении воздействий на систему, при изменении параметров материи самих элементов, а также при изменении соединений элементов, т.е.структуры системы. С возрастанием сложности технических систем все более важной становится задача расчета и анализа изменения состояния системы при изменении структуры связей ее элементов, даже если воздействия и сами элементы остались прежними. Проблема связи процессов и структуры, вообще говоря, есть проблема связи части и целого.

Задача данной работы состоит в разработке методов и алгоритмов исследования структурных свойств поведения СП.

Развитие целеустремленных технических систем производства авиационной техники, как по количеству элементов, так и по количеству связей между ними, требует создания соответствующих методов и средств их описания, исследования, расчета, анализа и управления. Развитие знаний об окружающем мире, развитие общества и создаваемых им технологий увеличивает влияние связей между элементами на поведение системы. Совокупность связей образует понятие структуры системы. Теория систем

возникла и развивается вместе с увеличением количества элементов и связей между ними. Усложнение связей требует совместного анализа процессов и структуры сложных систем.

Структура соединения элементов играет определяющую роль при формировании физической сути процессов, которые происходят в технических и производственных системах. Структура играет важнейшую роль в информационных системах производства.

Элементы систем сами по себе обладают многообразными свойствами. Свойства материи элементов, представляющие главный интерес при проведении конкретного исследования, определяют название системы, т.е. те качества, которыми данная система отличается от других систем. Материальными свойствами элементы системы обладают всегда, даже если они не соединены между собой, но проявляют их тогда, когда на них оказано воздействие. Тогда в системе, в элементах возникает отклик, реакция на воздействие. Характеристики измеримых откликов показывают, в какой степени система соответствует тем требованиям, которые заложены в нее при проектировании и управлении. При моделировании системы в целях ее исследования, свойства материи элементов определяют метрические свойства представляющего пространства.

Исследования, проводимые в данной работе, посвящены реализации концепции образа, в рамках системного подхода, т. е. объектом нашего изучения будут образы как таковые, рассматриваемые в рамках точного формализма, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа образов СП, помогая нам лучше понять, как образы строятся и обрабатываются.

Задача данной работы состоит в изучении закономерностей изменения структуры, а также изменения процессов при изменении структуры. Для этого используется достаточно простая математическая модель – сеть из одномерных отрезков-ветвей с присущими ей свойствами двойственности.

Применение в данной работе двойственных сетей позволило найти законы изменения процессов при изменении структуры систем; разработать алгоритмы расчета
откликов на приложенные воздействия при изменении структуры, включая разделение системы на части или соединение из частей целого.
Материальный состав элементов и структура связей между ними существует и до возникновения воздействий, до возникновения процессов. Это состояние системы назовем невозбужденным состоянием.

Элементы системы с их материей, и структура связей элементов вместе с возможными изменениями связей – это и есть невозбужденное состояние системы. Модель (математическая) такой системы – сеть. Элементами сети могут быть одномерные (отрезки) или многомерные (гиперплоскости) объекты. Сеть, с ее свойствами двойственности, обладает инвариантами, которые обеспечивают преобразование связанных с ней величин при изменении структуры, подобно тому, как происходит преобразование компонент геометрических объектов при изменении систем координат. Состояние невозбужденной системы характеризуют параметры элементов и параметры структуры связей элементов.

### 4.3. Основные понятия теории синтеза

Введем ряд общих понятий связанных с элементами, структурой связей и их преобразованиями.

1. Количество и состав элементов; геометрическая размерность элементов (точки, линии, поверхности, объемы, гиперплоскости).
2. Материальные характеристики элементов (существенные с точки зрения протекающих в системе процессов) выражаются их физической размерностью в соответствии с инерционными свойствами (масса, сопротивление и т.д.).

3. Совокупность связей между элементами, конфигурация связей. Соединенные элементы образуют в системе замкнутые и разомкнутые пути. Пути можно выражать друг через друга, комбинируя элементы, которые их составляют. Независимые наборы замкнутых и разомкнутых путей определяют базисы соответствующих подпространств. Изменения структуры определяются соединением и разъединением границ элементов. При этом некоторые замкнутые пути размыкаются, или разомкнутые замыкаются. Происходит соответствующее изменение размерности подпространств замкнутых и разомкнутых путей. С этим связаны свойства изменения, преобразования структуры систем.

Связи можно рассматривать как некие отдельные элементы, не имеющие материального содержания. Чтобы не выделять сами связи как отдельные элементы, можно говорить о соединении элементов их границами. Для этого надо разделить внутренний состав элемента и его границу с окружающей средой. При соединении, разъединении, т.е.изменениях, которые являются преобразованиями структуры, возникает вопрос о способе соединения, местах соединения элементов системы между собой. Это вопрос о том, какая часть каждого из соединяемых элементов становится общей для них, а какая часть остается особенной, принадлежащей только каждому элементу.

Одной из центральных задач данной работы является задача анализа структур объектов производства, ее изменения в рамках единого подхода, к сборочным единицам, сборочным частям, агрегатам ЛА, к их непосредственным структурам.

При этом встает вопрос о том, как отличить, что в результате соединения появились два соединенных друг с другом элемента, а не возник один элемент в результате слияния двух элементов.

Следовательно, при рассмотрении преобразования структуры возникает вопрос о границах элементов, которые составляют структуру. Для

решения этого вопроса надо отделить внутреннюю часть элемента от окружающей ее границы. Внутренняя часть, по сути, остается недоступной наблюдению и происходящее внутри можно описать только через свойство, способность элемента реагировать на воздействия. Граница – это та часть элемента, через которую происходит воздействие; его можно измерить. Через границу, как часть элемента, воспринимается отклик, который также можно измерить. Таким образом, понятие границы элемента связано не только с преобразованием структуры, но и с возможностью измерения.

Граница есть та часть элемента, которая может стать общей с другими элементами, без потери каждым из них своей особенности, индивидуальности. Например, в сети из отрезков линий границами являются точки начала и окончания каждого отрезка. Преобразования структуры связаны с изменением числа границ элементов в системе. Во всех случаях присоединении границ элементов число границ уменьшается, а при разъединении элементов число границ в системе увеличивается. С этим связаны инварианты преобразования структуры.

Возбужденное состояние системы характеризуют величины и точки приложения воздействий, а также отклики, определяемые свойствами невозбужденной системы.

4. Воздействия на систему возможны двух видов:

-воздействия извне системы, т.е. через границы элементов; это предполагает взаимодействие системы с окружающей средой. Это открытые системы.

-воздействия изнутри системы, т.е. в самих элементах, без контакта, взаимодействия с окружающей средой. Это замкнутые системы.

5. Состояние системы характеризуют отклики в элементах на приложенные воздействия, которые возникают при условиях ее состояния, заданных в пунктах 1–4.

Отклики на приложенные воздействия при заданных параметрах элементов определяют состояние системы постольку, поскольку они сами оказывают воздействие со стороны системы на окружающую среду.

Состояние системы определяют материя, структура связей элементов и протекающие процессы. Для анализа состояния системы необходим расчет откликов на приложенные воздействия. Для анализа возможного изменения состояния системы необходим расчет откликов при изменении тех или иных характеристик системы (свойств и состава элементов, значений и точек приложения воздействий, структуры связей элементов и др.).

*Процессы,* протекающие в системе, описывают с помощью уравнений поведения. Эти уравнения выражают значения откликов в элементах системы через приложенные воздействия и характеристики материи (метрики) самих элементов. Отклики меняются в зависимости от изменения воздействий и характеристик материи элементов.

*Структура* системы представляет собой взаимное расположение, соединение элементов. Отклики меняются в зависимости от изменения структуры.

Таким образом, состояние системы может меняться:

- при изменении количества и состава элементов,
- при изменении материальных характеристик (метрики) элементов,
- при изменении структуры связей элементов, например:

1) соединение системы из элементов или разделение системы на элементы;

2) изменение соединений в связанной системе;

3) разделение связанной системы на подсистемы или соединение системы из подсистем.

- при изменении значений и точек приложения воздействий, а также их вида (внешние или внутренние).

При математическом моделировании структуры, конфигурацию и связи элементов в сложной системе представляют симплексы, комплексы, замкнутые и разомкнутые пути.

Рассмотрим основные понятия сетей.

При геометрическом подходе  сеть состоит из двухмерных элементов (поверхностей), ограниченных одномерными линиями, трехмерных объемов, ограниченных поверхностями, и т.д.Многомерные сети можно представить математическими моделями симплициальных комплексов комбинаторной топологии. Преобразование структуры сетей (соединения и разъединения узлов) приводит к изменению числа узлов. Изменение числа узлов при изменении структуры для расчета и анализа изменения процессов требует нового инварианта. Такой инвариант существует, но требует введения понятия двойственных сетей. Правильнее сказать, что в реальности изменения структуры и процессов (в абстрактных сетях или в сложных системах) подчиняются одному закону. Этот закон для сетей
выражается инвариантом двойственных сетей, а для реальных сложных систем – законом сохранения потока энергии в совокупности систем с заданной и двойственной структурой.

Остановимся более подробно на понятии сетей, которые будут использоваться в дальнейших разработках. Как указывалось выше, сеть состоит из многомерных элементов. Соединения и разъединения ветвей суть преобразования структуры, при этом количество узлов может меняться. Свойствами ветви является ориентация, замкнута она или разомкнута, метрическая характеристика, «вес». Параметры сети - ветви с их свойствами, узлы, подсети, замкнутые и разомкнутые пути, матрицы преобразования базисов путей при изменении выбора путей и/или при изменении соединения ветвей.

Поведение двойственных сетей определяют инварианты, которые связывают параметры сети, базисы путей, их ориентацию и матрицы

преобразования. Такие инварианты, в соответствии с понятиями теории инвариантов, по-видимому, образуют базисную систему инвариантов группы преобразований соединения и разъединения. Особенность состоит в том, что матрицы преобразования путей (описывающие изменение структуры сетей) не образуют группу в принятом понимании [4].

Определим *сеть как совокупность протяженных элементов, обладающих границами и ориентацией (направлением)*. Элементами не могут быть точки (в терминах комбинаторной топологии – 0-симплексы), поскольку они не имеют границ. Элементами сети могут быть отрезки линий (1-симплексы), границами которых являются точки (узлы). Такие элементы будем называть *ветвями*. Элементами также могут быть части плоскостей (или поверхностей– 2-симплексы), границами которых являются линии и точки; элементами могут быть трехмерные объемы (3-симплексы), их границы – плоскости, линии и точки.

Размерность сети определяется размерностью составляющих ее элементов, а сама сеть представляет собой соответствующий комплекс. Элементы назовем *свободными*, если их границы отделены друг от друга, в противном случае назовем элементы *связанными*.

Элементы можно соединять путем совмещения, слияния их границ. Элементы можно разъединять путем разделения соединенных границ.

Под структурой будем понимать схему связей элементов, независимо от того, отделены границы элементов друг от друга или совпадают. Слияние и разделение границ приводит к изменению соответствующих топологических характеристик и вызывает изменение свойств сети. Изменение связей элементов, т. е. соединение, разъединение границ назовём *преобразованием структуры*.

В рамках математического моделирования все структурные схемы имеют нечто общее, и это побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться

от содержательной сторон структурных схем, оставив в рассматриваемой модели только общее для каждой схемы. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а так же (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется графом. Следовательно, граф состоит из обозначений элементов произвольной природы, называемых вершинами, и обозначений связей между ними, называемых рёбрами (иногда дугами).

Структурная схема СП является наиболее подробной и полной моделью, а её представление графом является основой исследования фундаментальных понятий, важных для решения структурных задач, касающихся достижимости и свойств связанности в этой системе.

Для изучения особенностей преобразования структуры в наиболее простом виде в данной работе рассматриваются одномерные сети, т. е. совокупность линий – ветвей (одномерных симплексов), обладающих границами (узлами, нуль мерными симплексами) и ориентацией (направлением). Такую 1-сеть будем назвать просто - сеть. Ветви можно соединять путём совмещения, слияния узлов. Ветви можно разъединять путём разделения соединённых узлов. В отличии от графов число узлов в сети может изменяться.

Для предложенных моделей, важной характеристикой является ориентация ветвей и рёбер. Ориентация ветви определяется заданным порядком прохождения от одной границы до другой границы, или от одной вершины до другой. Ориентация ветви задаётся произвольно и не меняется на протяжении всего анализа. Каждая ветвь определяет одно измерение в абстрактном пространстве сети. Размерность такого пространства равна количеству ветвей, составляющих данную сеть.

Введём ещё ряд важных понятий. *Путь в сети* – одна или несколько ветвей в сети. Путь задан узлом начала, узлом окончания и совокупностью ветвей, через которые он проходит. Пути играют роль координат в

пространстве сети. Если начальный и конечный узлы в пути совпадают то путь назовём – *замкнутым*, в противном случае – *разомкнутым*. Ориентацию и направление пути определяет порядок прохождения по элементам от одной границы до другой. Ориентация пути может совпадать с ориентацией его ветвей, или быть противоположной; это определяют знаки плюс или минус, с которыми каждая ветвь входит в состав сети.

Для модели СП, представляемой ориентированным графом, введём следующие понятия.

*Путём* (или *ориентированным маршрутом*) ориентированного графа называется последовательность дуг, в которой конечная вершина всякой дуги, отличной от последней, является начальной вершиной следующей.

*Ориентированной цепью* – называется такой путь, в котором каждая дуга используется не более одного раза.

*Простой орцепью* называется такой путь, в котором каждая вершина используется не более одного раза.

Для топологической модели ПС вводится метрическая характеристика ветви – *вес*, который представляет собой характеристику «масштаба» данной ветви, по аналогии с массой, электрическим сопротивлением, теплоёмкостью в физике и т. д. Вес ветви задаётся изначально, при задании сети как совокупности ветвей, и является постоянной характеристикой каждой ветви данной сети. Вес может быть задан целым числом, рациональным или действительным числом, комплексным числом, функцией.

Если веса всей ветвей равны единицам, то можно говорить, то метрика единичная, метрические свойства отсутствуют. Строго говоря, такое утверждение не означает отсутствия метрики как таковой – материальные свойства элементов, их физическая размерность (массы, сопротивления, и т. д.) сохраняются при любых числовых значениях.

Однако эти величины играют роль коэффициентов пропорциональности между воздействиями и откликами. Метрика, материя

ветви, преобразует воздействие в отклик. Она связывает ковариантную и контравариантную величину; а их произведение инвариантно. Если метрика единичная, то значения воздействия и отклика равны, как бы метрика себя не проявила, она как будто отсутствует. В декартовых, т.е. прямолинейных и прямоугольных координатах, ковариантные и контравариантные компоненты совпадают, метрические коэффициенты равны единицам, метрическая матрица единичная. Это выглядит как отсутствие метрики, но следовало бы говорить о единичной (декартовой) метрике.

В данной работе веса всех ветвей рассматриваются как целые числа, равные единице или неравные единице, либо как действительные числа. Предполагается, что вес (если он задан не равным единице, т.е. оказывает числовое воздействие на преобразование потока) сосредоточен в одной точке линии ветви. Таким образом, речь идет о ветвях с сосредоточенными параметрами. Это означает, что все остальные точки (внутренние точки), составляющие линию ветви, веса не имеют, т.е. формально они не влияют на процессы, происходящие в самой ветви.

Следовательно, ветвь представляет собой некую «бестелесную» линию, в которой есть четыре значимых точки. Это, прежде всего, границы, т.е. две точки начала и окончания ветви. Ветвь может соединяться своими границами с другими ветвями. Через границы на ветвь может оказываться воздействие, источник которого располагается вне ветви. Внешнее воздействие определяет разомкнутый путь. Предполагается, что через другие точки на ветвьне может быть оказано внешнее воздействие. Ветвь рассматривается как некий «канал», изолированный от внешнего мира всеми точками, кроме границ.

Важной значимой точкой (третья точка) является место, где сосредоточен «вес» ветви, ее параметр. В этой точке происходит взаимодействие ковариантных и контравариаитных компонент как векторов прямого и взаимного базиса путей, так и вектора, который наложен на ветвь

(можно сказать, что на сеть в целом, но воздействие на систему обычно происходит через конкретные элементы). Таким образом, ветви имеют сосредоточенные параметры. Вес ветви представляет ее материальное содержание, в том смысле, который является существенным для рассматриваемой системы (массу, сопротивление, вязкость). Вес ветви связывают с определением метрического содержания, метрики одной ветви. Совокупность метрик всех ветвей определяет метрику всего пространства сети. Сюда входят как собственные веса ветвей, так и взаимные, определяющие масштабы их воздействия друг на друга.

Предположение о сосредоточении веса в одной точке является не более чем удобной абстракцией. Реально вес распределен более или менее равномерно по всей протяженности ветви. То есть, весом обладает каждая точка ветви. Можно лишь предполагать, что в одной точке веса столько, что веса прочих пренебрежимо малы. Если вес распределен по всей ветви, то для расчетов потребуется интегрирование по длине ветви, по замкнутым и разомкнутым путям в сети. Это не только затруднит анализ, но и помешает выделению основного предмета данной работы - изучения свойств изменения процессов при изменении структуры сетей и сетевых моделей сложных систем.

Четвертая значимая точка - это источник воздействия, когда он расположен в самой ветви. Внутреннее воздействие определяет замкнутый путь. Внешние воздействия действуют в разомкнутых путях, через границы ветвей. Внутренние воздействия действуют в замкнутых путях, не выходя за пределы связанных ветвей. Различие между ними есть один из наиболее важных видов двойственности, которые определяют свойства сетей.

В производственных системах, представленных как сети, протекают различные физические процессы, обусловленные технологией изготовления деталей, СЕ, СЧ, агрегатов. Сложные производственные системы состоят из

многих элементов, связанных между собой. Эти связи могут изменятся в зависимости от источников воздействия, располагающихся как вне, так и внутри СП. Они определяют процессы, а их реализация структуры СП.

В элементах СП реализуются технологические процессы, образующие различные потоки готовых изделий, которые распространяются, преобразуются в структуре системы. Потоки предстают перед наблюдателем как измеримые величины откликов на приложение других измеряемых величин – воздействий.

Отметим, то при изменении структуры потоки в элементах СП меняются. Дадим ещё одно определение сети как пространства.

С математической точки зрения, сеть представляет собой пространство, измерения которого заданы элементами-ветвями. В таком пространстве каждая ветвь определяет отдельное измерение, выбор независимых путей (наборов ветвей) дельное измерение, выбор независимых путей (наборов ветвей) определяет выбор координат, а поток энергии можно представить как вектор, наложенный на сеть. Такие векторы проявляют себя в сети, принимая значения на ветвях (или путях) сети как проекции в координатах.

## 4.4 Терминология синтеза объектов и систем

Многие, фигурирующие выше понятия, известны в рамках введённых положений и из специальной научно-технической литературы. Однако, в связи с введением тонного формализма для синтеза и анализа СП и ОП, представляется целесообразным утонить определения используемых в дальнейшем понятий в соответствии со сложившейся теорией и практикой.

Итак, базовым понятием разрабатываемой теории представлений СП и ОП, а так же процессов протекающих в них, является геометрический подход к этим объектам, как к сложным техническим системам и процессам.

Сложные технические системы состоят из элементов, схема соединения которых образует структуру. В элементах протекают процессы - потоки одних измеримых величин под действием других измеримых величин. Задача расчета состоит в определении откликов в элементах системы на приложенные воздействия с учетом инерции, сопротивления материи элементов. Особенности природы исследуемой системы учитываются при построении сетевой модели с использованием аналогий их процессов и структуры.

Геометрический объект, например вектор, задают набором компонент в некотором базисе, связанном с системой отсчета. Физическую величину можно задать набором показаний приборов (например, потоки деталей и агрегатов, энергии, денежных средств на предприятии- показателями всех видов отчетности). При изменении системы отсчета значения компонент меняются, но сам объект инвариантен.

Инвариантный объект может быть представлен тензором, существующим вне зависимости от системы координат.

Тензоры, введенные в геометрии, нашли применение в физике и технике, где одно и то же физическое явление, процесс, описывается через измерение разными приборами и в разных условиях измерения, которые играют роль координат. При этом известные применения в физике относятся к непрерывному, изотропному и всюду плотному пространству, с которым соотносится физическое пространство. Теорией таких пространств являются, например, геометрии Евклида, Лобачевского, Римана.

Применение тензоров для сложных технических систем относится к пространству другого типа. Это неоднородное пространство-структура, которое расположено только вдоль выделенных линий, ветвей, а в общем случае - многомерных гиперплоскостей, которые могут соединяться друг с другом. Изменение соединений рассматривается как преобразование координат. При таком преобразовании меняются не только параметры

структуры, но также значения всех величин, характеризующих воздействия, отклики, метрику, т.е. процессы, происходящие в системе.

При синтезе и анализе СП и ОП при запуске объектов в производство необходимо учитывать их структуру, т. е. физическую, реально существующую структуру.

Для решения этой проблемы в работе предлагается описание связей и отношений, представляющих структуру производства с помощью сетей. Для этого необходимы расчёты изменения процессов при изменении структуры. Для этого требуется формализация описания структуры.

Процесс моделирования для этого необходимо попытаться ввести в рамки науки. Тензорный метод дает путь для формализации процесса моделирования систем. Для применения тензорного метода сложная система должна быть представлена сетевой моделью, которая использует свойства и инварианты преобразования структуры двойственных сетей. Такая модель с единых позиций отображает одновременно процессы и структуру любой системы, относящейся к данному классу систем (по количеству процессов, размерности структурных элементов). В рамках такого подхода уточним понятие сети. Сеть - совокупность соединенных элементов (ветвей), в которых протекают процессы. Сеть, как указывалось выше, определяется набором ветвей, а число узлов (вершин) может меняться. В этом отличие сети от графа, который задан двумя наборами: ветвей (ребер) и вершин.

Замкнутые и разомкнутые пути, образованные ветвями, составляют системы координат пространства сети. Независимые наборы замкнутых и разомкнутых путей образуют базисы. Объектами такого пространства являются параметры процессов (воздействия и отклики, материальные характеристики ветвей), заданные компонентами в путях. Для построения сетевой модели необходимо установить аналогии между процессами сети и системы, структурой сети и системы.

Наиболее адекватные аналогии для представления сложных систем дает геометрия, где есть инвариантные объекты, а их проекции преобразуются при изменении координат.

Синтез модели СП связан с изменением свойств геометрии, что потребовало введения разрывания и соединения, при которых допускается менять принадлежность одних элементов к другим.

Введение понятий, которые будут формализованы в последующем, необходимо связать между собой. Необходимо создать единую теорию синтеза образов как моделей ОП и СП в том смысле, что её основные понятия естественно согласованы друг с другом относительно заданных топологий: алгебраические и топологические свойства связаны между собой.

Теперь рассмотрим основные понятия и отношения теории синтеза образа ОП и СП в рамках точного формализма.

Основными понятиями теории образов являются объекты (образующие, конфигурации, идеальные и деформированные изображения, классы образов) и отношения (преобразования подобия, комбинаторные отношения, правила идентификации, механизмы деформации). Объекты составляют иерархическую систему, на нижнем уровне которой находятся образующие, на следующем – конфигурации и т. д.

В основе формализма лежит подход, который представляет порождение структур с использованием определённых непроизводных элементов, характер которых меняется от одних ОП и СП к другим. Эти непроизводные элементы будем называть образующими, обозначая отдельную образующую в общем случае $a$, а совокупность образующих в целом символом $A$. Множество $A$ в нашем случае будет конечным или счетно-конечным.

Образы формируются из простейших элементов – образующих, выбираемых в соответствии с «физической» природой изучаемых объектов или явлений. Вводятся определенные правила, налагающие ограничения на

способы формирования комбинаций образующих. Эти ограничения характеризуют типы образов и представляют их комбинаторную структуру.

Всякая образующая описывается с помощью признаков.

Вектор признаков $p = p(a)$ должен, естественно, описывать образующие достаточно подробно, чтобы их можно было различать. Другими словами, если, $a_1 \neq a_2$, то необходимо потребовать, чтобы $p(a_1) \neq p(a_2)$; набор признаков является полным. Если это так, то образующую можно отождествить с соответствующим вектором признаков.

Среди компонент вектора признаков мы будем выделять одну, обозначаемую как $\alpha=\alpha(a)$ и называемую *индексом класса образующих*. Роль этого индекса заключается в том, что он должен представлять некую фундаментальную характеристику образующей, и поэтому мы, естественно, налагаем на $\alpha$ условие $S$-инвариантности:

$$\alpha(sa) = \alpha(a);\ \forall s \in S,\ \forall g \in G. \qquad (4.1)$$

Подмножества

$$A^{\alpha} = \left\{ a \middle| \alpha(a) = \alpha \right\} \subset A \qquad (4.2)$$

называют *классами образующих*; очевидно, что классы подобия образуют некоторое разбиение $A$, которое по крайней мере столь же точно, как и разбиение $\left\{A^{\alpha}\right\}$.

Другими компонентами вектора признаков служат *связи*, играющие существенную роль в комбинаторных отношениях, рассматриваемых нами в следующем разделе. Предвосхищая это обсуждение, будем считать, что образующая $a$ обладает некоторым числом связей обозначаемой как $\omega(a)$.

Существует две разновидности связей: входные связи, направленные к образующей $a$и входные связи, направленные от образующей $a$.

Каждой связи ставится в соответствие *показатель связи*, принимающий значения из некоторого заданного пространства. Показатели связей будут определять возможности соединения образующих между собой. Множество

связей с учетом их меток и без учета соответствующих показателей связей образуют *структуру связей* образующей.

В основе порождения структур ОП и СП, в рамках используемого точного формализма, реализуется комбинаторная теория образов.

Комбинаторная теория образов предусматривает структурное объединение стандартных блоков – образующих - в *конфигурации.*

Конфигурация определяется *составом, и структурой.* Две конфигурации считаются идентичными только в том случае, если и их составы, и их структуры совпадают.

Для того чтобы выделить класс регулярных или допустимых конфигураций, воспользуемся некоторым правилом порождения.

Через $R$ мы будем обозначать систему правил или ограничений (или тех и других), определяющую какие конфигурации следует считать регулярными. Множество регулярных конфигураций, получаемых с помощью множества $R$, будем обозначать через $b(R)$ или через $b_n(R)$, где $n$ — число образующих (если оно определено). Множество $b(R)$характеризует регулярность образов.

Для решаемых в работе задач, состав конфигураций всегда задан соответствующей спецификацией на реализацию технологического процесса (ТП), т. е. образующие определены применительно к технологическому (опорному) пространству и соответствуют или отображают действительность, связанную с конкретными процессами производства как СЕ, СЧ, агрегатов, так и ЛА в целом. Следовательно, состав конфигурации для конкретного ТП – это множество образующих, которое представляет собой модель состава ТП для изготовления отдельных деталей СЕ, СЧ, агрегатов, которые, с общих позиций, образуют модель состава ТП, как неструктурированное множество, описывающее из каких компонент или подсистем, т. е. образующих, она состоит. В соответствии с введённым выше понятием такой модели и понятием образующей в предлагаемой трактовке

модели состава конкретного ТП, образующие являются его элементной основой.

Развитием модели состава ТП, необходимо на них наложить определённые конфигурации, т. е. установить между образующими определённые связи – отношения. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели ТП, т. е. построения регулярной конфигурации, отвечающей системе правил и ограничений $R$, связано с синтезом структур СП.

Таким образом, с общих позиций, состав конфигурации $c$ будем определять и обозначать как:

$C = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$,

где правая часть представляет собой неструктурированное множество образующих для реализации ТП.

Уточним введённое понятие отношения и свойства в рамках теоретико–множественных представлений.

Пусть $A$ – множество всех образующих ТП. Любое свойство, которым обладает образующая $a \in A$, задаёт в $A$ подмножество $A^{\alpha} \subseteq A$, где $\alpha$ - общий индекс конкретного подмножества (всех образующих, обладающих этим свойством).

Для наложения на множество образующих заданных конфигураций задаются отношения в которых находятся образующие $a_i$ и $a_j$ множества $A$, т. е. связи между ними - $\beta_{ij}$. Множество всех упорядоченных пар есть произведение $A \times A$. Подмножество $P = A \times A$ всех пар, для которых установлено отношение связи $a_i \rho a_j$. Задание этого подмножества и является заданием отношений (связей), каждые из которых, в свою очередь, представляют конфигурацию.

Таким образом, структура конфигурации представляет собой множество $\sigma$ соединений, существующих между всеми или некоторыми

связями образующих, входящих в её состав. Если перенумеровать связи как $\beta_{ij}$, $i=1,2,3,\ldots,n$, $j=1,2,3,\ldots,\omega(g_i)$ то множество $\sigma$ можно задать списком вхождений вида $(\beta,\beta')=((i,j),(i',j'))$, соответствующих соединению связей $\beta$ и $\beta'$. С другой стороны, множество $\sigma$ можно задать с помощью квадратной матрицы инцидентности порядка $\Sigma\omega(g_i)$, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определенных парах связей.

Обычно мы будем рассматривать не все возможные множества соединений $\sigma$, но лишь определенный класс, скажем векторную структуру, древовидную структуру и т. п. Множество всех допустимых множеств соединений $\sigma$ обозначим через $\Sigma$ и будем называть его типом соединения конфигураций в рассматриваемом множестве регулярных конфигураций $b(R)$.

Тип соединения, с формальных позиций, представляет собой некоторое множество графов, описывающих способ соединения связей образующих в конфигурации.

Объединив отношение связи с типом соединения, мы можем говорить о комбинаторных правилах $R=\langle\rho,\Sigma\rangle$. Некоторая конфигурация *c* называется регулярной, если топология соответствует типу соединения $\Sigma$ и все её соединенные связи удовлетворяют отношению связей $\rho$. Множество всех регулярных конфигураций $b(R)$ — пространство конфигураций — и является тем множеством регулярных структур, которое мы будем синтезировать.

Отметим, что регулярная конфигурация не является просто некоторой совокупностью образующих. Это обстоятельство является характерной чертой того, что целое – это нечто большее, ем сумма его частей.

Регулярные конфигурации представляют собой логические конструкции, введенные для того, чтобы можно было дать точные определения для различных понятий регулярности. Эти конфигурации не всегда поддаются непосредственному наблюдению; наблюдатель обычно может «видеть» лишь их «поверхность», но не их внутреннюю структуру.

Формализм теории образов должен, следовательно, определять, как из регулярных конфигураций возникают наблюдаемые объекты.

Запуск в производство опытных образов самолётов связан с анализом существующего серийного производства. Этот анализ, как правило, выполняется группой главных специалистов, в некотором смысле идеальных наблюдателей, снабжённых средствами оценки параметров отдельных серийных технологических линий (ТЛ), т. е. с общих позиций конфигураций. При обследовании таким наблюдателем некоторой конфигурации $C_1$, он получает полную информацию об этой конфигурации по решению той или иной технологической задачи серийного производства, например, сборки отъёмной части крыла самолёта. Это позволяет однозначно идентифицировать её в множестве регулярных конфигураций $b(R)$.

После такого анализа возникает задача запуска на этой ТЛ производства новой конструкции, при этом часть информации по ней ещё не существует, и, следовательно, специалист в состоянии идентифицировать конфигурацию с точностью до принадлежности ее некоторому подмножеству $b(R)$.

Формализуем это, считая, что на множестве регулярных конфигураций $b(R)$ существует некоторое отношение эквивалентности $\Re$, такое, что конфигурации $C_1$ и $C_2$ воспринимаются идеальным наблюдателем как идентичные в том и только том случае, если они обладают $\Re$-эквивалентностью, которую мы будем записывать как $C_1 \Re C_2$. Правило

идентификации $\Re$, по существу, резко отличается от комбинаторного правила $R$.

Правило идентификации не есть отражение несовершенства измерительных устройств, связанных с возникновением таких явлений, как шум. На самом деле, подобные дефекты не удается хорошо описывать с помощью отношений эквивалентности. Правило идентификации дает интерпретацию регулярной конфигурации в категориях ее функционирования, так, как она воспринимается идеальным наблюдателем.

Классы эквивалентности, индуцированные на множестве регулярных конфигураций $b(R)$правилом идентификации $\Re$, представляют собой объекты, поддающиеся наблюдению по крайней мере в принципе. Они в соответствии с [1] называются изображениями и обозначаются в общем случае через $I$.Изображения являются элементами некоторого пространства$P$ - алгебры изображений, структура которого более подробно будет введена ниже.

Если конфигурации мы считаем формулами, то изображения являются функциями. Они выражают значение формул, и, естественно, одной функции могут соответствовать несколько формул. Изображения являются семантическими конструкциями.

Интерпретация конфигурации вычислительных модулей СП по отработке стыковочных узлов в нашем примере представляет собой интерпретацию некоторой функции. Конфигурация является формулой, или алгоритмом, или машинной программой. Изображение — это функция, реализованная посредством этой конфигурации. В определение функции как часть входит указание её области определения, которая в случае конфигурации задается посредством открытых входных связей. Подобным же образом множество значений можно задать открытыми выходными связями. Отсюда становится очевидно, что изображение должно содержать информацию относительно несоединенных (внешних) связей конфигурации.

Это делает возможной комбинацию изображений при помощи соединения открытых связей в соответствии с комбинаторным правилом $R$. В таком случае пространство $P$ приобретает некоторую алгебраическую структуру, возникающую в результате построения таких комбинаций, взятых по модулю $\Re$.

Множество $P$ вместе с преобразованиями подобия и комбинациями под средством $\sigma$ называется алгеброй изображений, обозначается также через $P$ и может быть представлена пятёркой:

$$P = \langle b(R), \Re \rangle = \langle A, S, \Sigma, \rho, \Re \rangle, \tag{4.3}$$

где $S$ - множество отображений: $S = A \to A$.

В случае, когда речь идёт о двух конфигурациях $C_1$ и $C_2$, в частности для серийного и опытного образца, естественно будем отождествлять две конфигурации, если они содержат одни и те же образующие и, если у них открыты одни и те же связи. Для этого необходимо более глубоко анализировать ОП, т. е. идентифицировать конфигурацию $C_2$ ТЛ с такой же точностью как и конфигурацию $C_1$.

Последнее необходимо для того, чтобы иметь возможность соединять изображения между собой. В конфигурации мы определяем также и внутренние связи. Отметим, что в изображении образующие не помечаются с помощью двойной индексации; образующие не должны даже однозначно определяться. Сейчас это не имеет особого значения, однако когда мы рассматриваем реально (а не только идеально) наблюдаемые изображения, то оказывается, что это обстоятельство имеет важные последствия.

Роль анализа образов начинает теперь проявляться более отчетливо, по крайней мере, при введении допущения об идеальном наблюдателе. Этот наблюдатель снабжается информацией, содержащейся в изображении, - ни больше ни меньше. Наблюдатель пытается восстановить внутреннюю структуру, комбинаторную регулярность, составляющую основу

изображения или того класса изображений, к которому оно принадлежит. Можно сказать, что анализируя образ, мы пытаемся постичь глубинную структуру, имея доступ лишь к поверхностной структуре изучаемого регулярного явления.

После того как мы получили алгебру изображений, следующим естественным уровнем абстрагирования является *образ*. Под образом или классом образов мы подразумеваем некоторое подмножество множества $P$, инвариантное относительно преобразований подобия. Мы вынуждены настаивать на $S$-инвариантности, поскольку хотим, чтобы классы образов обладали однородной регулярностью. С другой стороны, мы не ограничиваем мощность класса образов. Его размер может составлять единицу (образы — это отдельные изображения), либо он может быть равен мощности собственно $P$ в целом — класс включает все изображения, удовлетворяющие правилам регулярности с точки зрения идеального наблюдателя. Естественно, возможны и промежуточные случаи, они-то и являются самыми интересными.

Оба процесса формирования — «конфигурации $\rightarrow$ изображение» и «изображение $\rightarrow$образ» — предполагают разбиение множеств. Эти разбиения, однако, концептуально совершенно различны. Первое вводится для описания информационных потерь, вызванных ограничениями по наблюдаемости. Второе не связано с потерями информации, оно собирает вместе изображения, отличающиеся несущественными деталями. Изображение представляет некоторое понятие — функцию в очень широком смысле слова. Образ — это обобщение понятия такого рода.

Алгебра изображений представляет собой некую логическую конструкцию, описывающую регулярности в том виде, как они воспринимаются идеальным наблюдателем. Для того чтобы построить реалистический формализм теории образов, необходимо также

математическими средствами определить связь этих изображений с тем, что видит реальный наблюдатель.

Необходимо создать теорию, включающую всю цепочку порождения реально наблюдаемых объектов – в том числе и последнее звено, в которое входит реальный наблюдатель.

Решение этой задачи требует установления зависимости между изображением $I \in P$ и тем, что наблюдается реально. Если говорить на качественном уровне, то наблюдение обычно сопровождается потерями информации, внесением ошибок и искажением структуры регулярности. Следовательно, нельзя рассчитывать на то, что наблюдаемое объекты будут обнаруживать такую же комбинаторную регулярность, как и изображения, за исключением отдельных случаев. Сформулируем все это в явном виде. Обозначим наблюдаемый объект через $I^{Д}$ (деформированное изображение), и множество деформированных изображений через $P^{Д}$. Хотя обычно $P^{Д}$ отличается от $P$ оно может обладать какой-то собственной (отличной от $P$) структурой регулярности. В подобных случаях эта структура «слабее», она менее жесткая, чем структура регулярности $P$.

В заключении рассмотрим влияние преобразования и деформаии на алгебру изображений $P$.Преобразования подобия не приводят к выходу за пределы множества $P$. Деформации вносят более серьезные изменения. В общем случае будем обозначать механизм деформации через $D$. Этот механизм может включать случайные элементы, ив таком случае $D$ должен определять используемые вероятностные меры. Конкретная деформация обозначается через $d$, $d \in D$, и можно использовать запись $I^{Д} = dI$.

Иногда сила механизма деформации определяется некоторым параметром, скажем $t$, и в таком случае мы полагаем, что существует аддитивная полугруппа

$$D(t_1 + t_2) = D(t_2)D(t_1);\ t_1, t_2 \geq 0, \tag{4.4}$$

где $D(0)$ обозначает тождественные отображения.

Для того чтобы включить эту часть в единую теорию, необходимо изучить, каким образом деформации $D$ связаны с преобразованиями подобия $S$, каким образом множество образующих $G$ преобразуется деформациями $D$, какова комбинаторная структура деформированной алгебры изображений $P^{Д}$, если она вообще существует, и т. д.

## 4.5 Формализация представлений объектов технологий и систем

В рамках введённых вше понятий и использования их в терминологии принципов задания регулярности реальных ОП и СП показано, что все рассматриваемые нами регулярные структуры построены из неделимых элементов — образующих, соединенных в определенном порядке таким образом, что наблюдатель воспринимает регулярность. Эта регулярность может иметь как глобальный, так и локальный характер: тип соединения определяет регулярность глобального типа, а отношение связей — регулярность локального типа.

Рассмотрим локальную регулярность, опираясь на показатели связи, и поставим ряд вопросов, ответы на которые следует получить прежде, чем мы перейдем к определению конфигураций на глобальном уровне.

Ещё раз напомним основные положения четырёх принципов: непроизводных объектов (атомизма) образующих, комбинаторности, наблюдаемости, реализма, и уточним информационный аспект их представления. Образующая представляет собой непроизводный информационный элемент. Образующая $a \in A$ содержит некоторую совокупность информации, которую можно представить с помощью функции признаков $p(a)$. Выделим некоторые особенно важные из этих признаков. Индекс класса образующих $\alpha = \alpha(a)$ разбивает множество образующих $A$ на

непересекающиеся подмножества $A^{\alpha}$, и мы имеем некоторое разбиение $\{A^{\alpha}\}$, инвариантное относительно преобразований, входящих в группу преобразований подобия *S*. Индекс класса образующих служит для того, чтобы разделять образующие, отличающиеся друг от друга коренным образом.

Образующая может быть снабжена также и некоторым идентификатором, предназначенным для того, чтобы помечать образующие, входящие в конфигурации *C*. Если все образующие конфигурации *C* различны, то никаких проблем не возникает и можно воспользоваться любой системой меток, например обозначать образующие с помощью нижнего индекса *i* - $a_i$, $i = 1, 2, \ldots, n$, по крайней мере в тех случаях, когда # (c) конечна, что и будет для простоты предполагаться на протяжении всей настоящей работы. В противоположном случае, когда регулярная структура позволяет включение в конфигурацию идентичных образующих необходимо проявлять большую осторожность. При этом необходимо установить, располагают ли эти образующие каким-либо идентификатором, и последующий синтез образов зависит от этого решения.

Признаки образующих, а именно связи, определяют локальную регулярность. Связи любой образующей определяются как:

$$B(a) = [B_s, B_v]; \; B_s(sa) = B_s(a), \; \forall s \in S, \tag{4.5}$$

где $B_s$ представляет структуру связей, а $B_v$ — показатели связей. $B_s$ может быть представлена некоторым вектором длины $\omega(a)$, элементами которого являются параметры структуры связей, принимающие значения типа *in* (входной) и *out* (выходной), «активный» и «пассивный», просто натуральные числа; их значениями могут быть и комбинации таких значений. Необходимо пометить связи образующей *a* с помощью какой-нибудь координаты $i = 1, 2, \ldots, \omega(a)$ для того, чтобы можно было однозначно указывать

соответствующую связь; способ же выбора координаты несуществен, пока мы сохраняем информацию о значениях параметров связи.

Мы будем говорить об интересующей нас связи как о «связи *i*», образующей *a*, где *i* — координата соответствующей связи.

Множество $B_v$ должно иметь ту же мощность, что и множество $B_s$; мы будем говорить, что «показатель связи *i* равен $\beta$». Допустимыми значениями $\beta$ служат элементы некоторого пространства $V_b$, которое может изменяться в соответствии с изменениями величины *b*.

Как правило, мы будем рассматривать ориентированную регулярность. Регулярность называется ориентированной в тех случаях, когда все связи являются ориентированными, т. е. либо входными, либо выходными, соответственно *in* и *out*.

В этом случае входные связи присоединяются исключительно к выходным и наоборот. Рассмотрим пример, иллюстрирующий смысл такого определения для построения теории представления ОП и СП.

В нашем случае образующая *a* представляет функции, допустим производственных модулей; $\omega_{in}(a) =$ «число аргументов $x_1, x_2, \cdots$», а число результатов число результатов $\omega_{out}(a) =$ «число результатов», так что мы записываем

$$B_s = (x_1, x_2, \ldots, y_1, y_2, \ldots). \tag{4.6}$$

Соответствующие показатели связей представляют собой области определения и значений $X_1, X_2$, ..., $Y_1, Y_2$, ..., которые часто можно рассматривать в качестве подмножеств некоторых больших пространств *X*; образующая *a* в последнем случае определяется как частичная функция, сосуществующая отображение из $X^p$ в $X^q$, где $p$ — входы, а $q$ — входы.

Если задана образующая со связями *B*, то в общем случае мы будем обозначать через $P(a)$ множество перестановок $\{1, 2, 3, \ldots, \omega(a)\}$ фактически

не изменяющих связи, а приводящих лишь к изменению меток. Очевидно, что $P(a)$ формирует группу, а именно группу связей образующей *a*. В частном случае, когда такая группа содержит только единицу, т. е. $P(a)=\{e\}$ все связи могут быть определены однозначно; этот случай будет нам встречаться часто.

В большинстве случаев внедрение в серийное производство опытного образца требует изменения существующей конфигурации путём присоединения дополнительных образующих *a*. Эта ситуация может быть определена следующим образом.

Пусть образующая *a* рассматривается в качестве кандидата для соединения с существующей конфигурацией *c*, т. е. мы пытаемся соединить некоторые из внешних связей *c* с подмножеством $B'$ множества мы хотим установить взаимно однозначное отношение между связями *a* и некоторыми внешними связями конфигурации *c*. Если $P(a)\neq\{e\}$, то маркировка связей образующей неоднозначна, и это обстоятельство следует иметь в виду при определении соединения при помощи координат связей. Мы только что сформулировали подобный принцип, состоящий в том, что выбор системы координат не должен влиять суть дела.

Маркировка связей однозначна по модулю $P(a)$. Пусть нам удалось задать биективное отображение между связями двух образующих $a_1$ и $a_2$, имеющих одинаковые связи, (структура связей и показатели связей) одинаковы. В таком случае $a_1$ и $a_2$ изоморфны относительно связей (символически этот факт записывается как $B(a_1)\cong B(a_2)$) но, естественно, они могут очень существенно различаться по другим признакам.

Если речь идет о локальной регулярности, то возможность присоединения образующей к некоторой конфигурации полностью определяется множеством $B(a)$.

На различных этапах синтеза мы можем выбирать между использованием локальной и глобальной регулярности при достижении некоторой определенной цели. В рамках такого подхода к глобальной регулярности рассмотрим некоторую заданную образующую *a*. Будем пренебрегать локальными условиями: в результате показатели связей перестают играть какую-либо роль. Вся глобальная информация, касающаяся *a* заключена, таким образом, в структуре связей $B_s(a)$ и индексе класса образующей $\alpha(a)$. Эта информация, записываемая символически как остов образующей

$$\tilde{a} = \gamma = \left[B_s(a), \alpha(a)\right], \tag{4.7}$$

представляет глобальную связность образующей *a*. Все значения (4.7) соответствующие вариациям *a* в пределах множества *A* образуют некоторое множество $\tilde{A} = r$.

Глобальная связность абстрагирована от всех признаков, за исключением структуры связей и индекса класса образующих. Поскольку вся остальная информация исключена, мы представим схематически остов $\tilde{a}$ как основной узел — зачерненный кружок (снабженный значением $\alpha$) вкупе со связями, снабженными координатами.

Глобальная связность образующих, приведенных на рис. 4.1, будет в таком случае иметь вид, представленный на рис. 4.2.

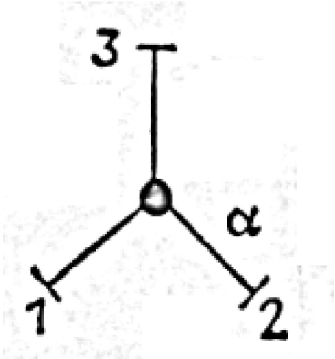



Рисунок 4.1 Образующая, снабжённая метрами

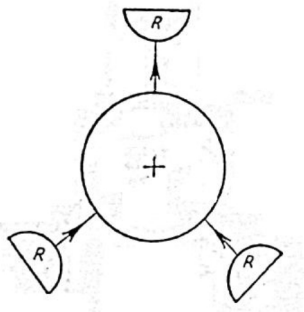



Рисунок 4.2 Связи остова

Если заданы два семейства образующих $A_1$ и $A_2$ мы, естественно, можем задать обычные теоретико-множественные операции $A_1 \cup A_2$, $A_1 \cap A_2$ и т. п. В дополнение к ним у нас иногда будет возможность применять и другие операции. Одна из таких операций — произведение семейств образующих $A_1 \times A_2$ — формирует множество всех упорядоченных пар $a = (a_1, a_2)$, $a_1 \in A_1$, $a_2 \in A_2$ причем структура связей задается объединением

$$B_s(a) = B_s(a_1) \cup B_s(a_2), \tag{4.8}$$

а соответствующие показатели связей — объединением

$$B_v(a) = B_v(a_1) \cup B_v(a_2), \tag{4.9}$$

что обеспечивает естественную связь между новыми координатами связей, и новыми показателями связей. Кроме того, $\alpha(a) = (\alpha(a_1), \alpha(a_2))$.

Прежде, чем рассматривать координаты конфигураций, сделаем следующее замечание, в котором отметим, что конфигурации представляют собой синтаксические конструкты, хотя и не ограниченные синтаксисом формальных языков, в то время как изображения представляют собой семантические понятия.

Рассмотрим некоторый остов конфигурации $\gamma$, возникающий в результате соединения ряда $\gamma_r$. Введем координаты конфигурации $(r,i)$, где символ $r$ обозначает номера остовов образующих, а символ $i = 1,2,\ldots,\omega(\gamma_r) = n_r$ представляет координаты образующих $\gamma_r$. Преобразование координат остова конфигурации вида $(r,i) = (r',i')$ изменяет порядок значений $r$: $(1,2,\ldots,n) \to (i_1, i_2, \ldots, i_n)$, так же, как и координат образующей — $(1,2,\ldots,n_r) \to (i_1, i_2, \ldots, i_{nr})$. Подобно тому, как это было в предыдущем разделе (где речь шла об отдельных образующих), в данном

случае может оказаться, что остов конфигурации $\gamma$ с измененной маркировкой совпадает с исходным $\gamma$, и потому структура $i$-й связи остова $\gamma_r$ совпадает со структурой $j_i$-й связи остова $\gamma_{ir}$.

Преобразования координат, обеспечивающие выполнение этого условия, образуют некоторую группу, обозначаемую как $\pi(\tilde{c})$, где символ $\tilde{c}$ обозначает остов конфигурации. Её роль аналогична роли группы $\pi(\gamma)$ для остовов отдельных образующих.

Такой способ маркировки связей хорошо приспособлен для рассмотрения общего случая. При изучении конкретных пространств конфигураций иногда будет удобнее помечать связи не парой $(r,i)$, а специально подобранными координатами.

В процессе анализа глобальной регулярности будем систематически использовать понятие «тип соединения» $\Sigma$. Для определенности отметим, что образующие, подлежащие соединению, располагают остовами (глобальной связностью), принадлежащими некоторому заданному множеству $A = \Gamma$. Используя определённую совокупность остовов $y_1, y_2, \ldots, y_k, \ldots y_n$ часть которых могут быть идентичны, формируем некую комбинацию посредством соединения между собой, связей с выполнением требований чтобы ориентация «выходная —входная» соблюдалась, если регулярность является ориентированной.

В связи с конечностью числа образующих и их связей, как и количества комбинаций из них будем действовать следующим образом.

На множество всех остовов конфигурации, которые могут быть получены определённым образом как комбинации, налагается единственное условие: не должны нарушаться ограничения по структуре связей; это множество будем обозначать ВСЕ(Г). В важном случае ориентированной регулярности это означает, что связи остовов образующих можно соединять

как нам необходимо, с учётом того, что входные связи должны соединяться исключительно с выходными.

Отметим, что в множестве ВСЕ(Г) мы не принимаем во внимание показатели связей и поэтому отсутствует необходимость и в определении отношения связей $p$, и в требовании глобальной регулярности, следовательно, не нужно определять и тип соединения $\Sigma$.

Остов комбинации можно представить как структуру связей + соединения + индексы классов образующих:

$$\tilde{c} = \left[ B_s(c), \sigma(c), \alpha(c) \right], \tag{4.10}$$

где $B_s(c)$ — структура связей, $\sigma(c)$ характеризует, каким способом связи, снабженные соответствующими метками, соединены друг с другом, и $\alpha(c)$ — некоторый $n$-мерный вектор индексов классов образующих, снабженных соответствующими метками. Точно так же как и в случае отдельных образующих (и их остовов), эта информация представляется посредством некоторой системы координат, причем снова координаты определятся по назначению, т. к. $\Pi(c) = \{e\}$.

Тип соединения ВСЕ(Г) обычно оказывается чрезмерно «широким» для описания встречающихся нам глобальных регулярностей, и мы сузим его до некоторого подмножества, которое будет обозначаться через $\Sigma$ или, если мы захотим выделить семейство остовов, через $\Sigma(\Gamma)$.

В связи с классом зада синтеза опытного производства самолётов в рамках серийного нас будет интересовать тип соединения $\Sigma =$ «дискретный»,когда в регулярную конфигурацию могут вводиться лишь изолированные образующие.

Теперь рассмотрим полную регулярность $R = \langle \Sigma, \rho \rangle$, для чего следует ввести отношение связей $\rho$ для синтеза конкретной конфигурации отдельного производственного участка; это приводит нас к пространству

$b(R)$ регулярных конфигураций. Для их описания нам требуются также показатели связей. Тогда связи некоторой конфигурации $c \in b(R)$ можно описывать как

$$B(c) = \left[ B_s(c), \sigma(c), B_v(c) \right], \tag{4.11}$$

где $B_s(c)$ определяет связи, их структурные параметры, их принадлежность соответствующим образующим, $\sigma(c)$ описывает их соединения, а $B_v(c)$ задает для связей соответствующие показатели связей. Для того чтобы абстрагироваться от связности, воспользуемся составом конфигурации *c*:

$$\text{состав}\ (c) = \{g_1, g_2, \ldots, g_n\}. \tag{4.12}$$

Следует заметить, что некоторые из образующих *a* могут совпадать, и, следовательно, состав (*c*) представляет собой некоторое множество + частота встречаемости, т. е. некоторое мультимножество. Частоты, естественно, можно исключить, если правило *R* требует, чтобы образующие, входящие в регулярную конфигурацию, отличались друг от друга. В противном случае одной структуры множества оказывается недостаточно.

При соединении конфигурации *c* с другими конфигурациями локальная регулярность затрагивает только внешние связи *c*, которые еще не соединены с какими-либо другими связями. Структура внешних связей и показатели связей обозначаются как

$$B^e(c) = \left[ B_s^e(c), B_v^e(c) \right]. \tag{4.13}$$

Однако следует помнить, что глобальная регулярность обычно налагает определенные условия на $\sigma(c)$.

Мы будем называть два пространства конфигураций $b_1$ и $b_2$ глобально равными, если равны соответствующие множества остовов образующих

$\tilde{A}_1 = \tilde{A}_2$ и типы соединений $\Sigma_1 = \Sigma_2$, т. е. другими словами, если два эти пространства обнаруживают одну и туже глобальную регулярность.

Если заданы два пространства конфигураций $b_i = \langle A_i, S_i, \Sigma_i, \rho_i \rangle$, $i = 1,2$, то можно построить их объединение и непосредственно ввести другие теоретико-множественные операции. Под произведением $b_1 \times b_2$ мы будем понимать новое пространство конфигураций $\langle A_1 \times A_2, S_1 \times S_2, \Sigma_1 \times \Sigma_2, \rho \rangle$, где $\Sigma_1 \times \Sigma_2$ обеспечивает соединение связей $A_1$ в соответствии с $\Sigma_1$ и связей $A_2$, в соответствии с $\Sigma_2$. Новое отношение связей $\rho$ сводится к отношению $\rho_1$ на связях $A_1$ и к отношению $\rho_2$ на связях $A_2$.

В заключение проблемы геометризации получения алгебры изображений. Регулярные конфигурации серийного производства объединяются в новые регулярные конфигурации с учётом производства опытных образов посредством соединителей.

В общем случае соединитель $\sigma$ (пусть, для простоты, рассматривается два аргумента $c$ и $c'$) отображает некоторое множество $c \subseteq b(R) \times b(R)$ в $b(R)$ таким образом, что

$$\begin{cases} состав\ (c'') = \{a_1, a_2, ..., a'_1, a'_2, ...\}; \\ состав\ (c) = \{a_1, a_2, ...\}; \\ состав\ (c') = \{a'_1, a'_2, ...\}; \end{cases} \tag{4.14}$$

и

$$B_s(c'') = B_s(c) \cup B_s(c'). \tag{4.15}$$

Это отображение сохраняет старые соединения в конфигурациях $c$ и $c'$ и вводит новые:

$$\sigma(c'') = \sigma(c) \cup \sigma(c') \cup \sigma, \tag{4.16}$$

где $\sigma$ определяется через координаты $b_s(c)$ и $b_s(c')$. Соответствующая запись имеет вид $c'' = \sigma(c, c')$.

Это означает, что остовы $\tilde{c}$ и $\tilde{c}'$ принадлежащие $\Sigma$, должны посредством соединителя $\sigma$ объединяться в остов, также принадлежащий $\Sigma$ (глобальная регулярность $c''$), а вводимые связи должны удовлетворять $\rho$ (локальная регулярность). Обычно это условие выполняется лишь для собственных подмножеств $C$ произведения $b(R) \times b(R)$. Следовательно, $\sigma(c, c')$ является лишь некоторой частичной функцией, определенной на $b(R) \times b(R)$.

Хотя основной сферой действия соединителей служат пространства конфигураций (а далее - алгебры изображений), естественно ввести их также как операции на остовах конфигураций.

Следует напомнить, что остовы несут информацию об индексах классов образующих. Таким образом, на соединители можно наложить ограничения, задаваемые значениями индексов классов образующих, которые соответствуют вершинам остовов, подлежащих соединению.

Если заданы конфигурации $c$ и $c'$, обе принадлежащие $b(R)$ и $(c, c') \in C$, то соединитель $\sigma$ определяет, какие из открытых связей $c$ и $c'$ должны быть соединены. Для задания $\sigma$ можно воспользоваться координатами конфигураций из $b(R)$, однако в этом случае необходимо помнить о том, что допустимые преобразования координат не должны влиять на результат применения $\sigma$. Если, следовательно, маркировка образующих и связей конфигурации *c* изменяется в результате применения элемента группы $P(c)$ и аналогичным образом дело обстоит с конфигурацией $c'$, то вычисленное значение $\sigma(c, c') = c''$ должно быть точно таким же, как и в

случае изменения маркировки образующих и связей с помощью элемента группы $P(c'')$.

Это как раз и означает, что выбор системы координат недолжен никак проявляться впоследствии.

Отметим один соединитель специального вида, который, несмотря на свою тривиальность, будет нам иногда встречаться. Этот соединитель обеспечивает объединение в одну конфигурацию с двух конфигураций $c_1$ и $c_2$ без замыкания каких бы то ни было связей, что будет записываться как $c = \varnothing(c_1, c_2)$, поскольку данный соединитель вообще не затрагивает связи — он пуст.

При задании $\sigma$ алгоритм определяет одну образующую $c_1$ и одну из ее связей, делает то же самое для $c_2$ и соединяет две эти связи, если это возможно. Конечно, это может оказаться невозможным по нескольким причинам, скажем, если одна из выбранных связей уже замкнута.

Другой, более сложный соединитель будет определять по нескольку связей для $c_1$ и $c_2$ и соединять их соответствующим образом.

Еще один соединитель работает $c_1$ при $c_2 = \varnothing$; в этом случае $\sigma$ обеспечивает соединение разомкнутых связей $c_1$ без нарушения $\Sigma$ или $\rho$.

Для всякой регулярной конфигурации $c$, кроме того, существует тривиальное соотношение $\sigma(c, \varnothing) = c$.

Отметим, что в более общем случае при $c_2 = 0$ мы на самом деле воздействуем лишь на структуру связей си так что, несколько погрешив в нотации, можно записать, что $\sigma(c_1, c_2) = \sigma(c_1)$.

Если $R$ — «дискретная», то связностью можно полностью пренебречь и конфигурации оказываются просто множествами (частотами встречаемости

элементов); в результате всякий $\sigma$ воздействует лишь на составы, так что если состав $(c_1)=\{a_1,a_2,...\}$, состав $(c_2)=\{a_1',a_2',...\}$, то

$$\sigma(c_1,c_2)=\{a_1,a_2,...,a_1',a_2',...\}. \tag{4.17}$$

В этом случае соединители определяют двоичные частичные функции, аргументы которых принадлежат $b(R)$ и значения также принадлежат $b(R)$. Пространство конфигураций при этом можно рассматривать как базисное множество некоторой частичной универсальной алгебры.

Если рассмотреть также правило идентификации $R$, то мы получим некоторую алгебраическую систему, где $R$ выполняет роль некоторого отношения конгруэнтности, так как все основные операции устойчивы относительно $R$.

Таким образом пространство конфигурации $b=\langle G,S,R\rangle$ в сочетании с правилом идентификации $\Re$ и множеством соединителей $\{\sigma\}$ образует некоторую частичную алгебраическую систему. Наблюдатель, изучая $b$, может различать лишь объекты разбиения $b/\Re$, т. е. изображения (см. т. I, гл. 3). Наблюдая некоторую регулярную конфигурацию $c\in b$, он может увидеть только изображение — класс эквивалентности $I=[c]_R$, к которому она принадлежит.

Хотя наблюдатель может утратить информацию, касающуюся внутренних связей. конфигураций, которые принадлежат $I$, ему всегда будут известны внешние связи. Структура связей и показатели связей изображения $I$ задаются этими внешними связями. Для того чтобы оперировать ими, необходимы координаты связей, причем выбор системы координат произволен в той мере, как мы указывали выше.

Изображение $u$ обладающее тем свойством, что при произвольном $I$ и

соединителе $\sigma$ имеет место $\sigma(I,u)\in\Gamma\Rightarrow\sigma(I,u)=I$ называется (частичным) единичным элементом алгебры изображений.

Алгебры дискретных изображений, $\Re$— «дискретный», естественно, простейшие алгебры. Два изображения $I_1$ и $I_2\in\Gamma$ можно объединить только одним способом, и результат не зависит от порядка. В таком случае естественно записывать эту комбинацию как $I_1+I_2$, где сложение коммутативно и ассоциативно. Преобразования подобия удовлетворяют условию $s(I_1+I_2)=sI_1+sI_2$.

Другими словами, *алгебру дискретных изображений можно рассматривать как некоторую коммутативную подгруппу с преобразованиями подобия, дистрибутивными относительно сложения.*

Итак, с общих позиций, любое восприятие производства самолетов, как связанной структуры, базируется на понятии регулярности, с помощью которой мы получаем его закономерности.

Следует отметить, что регулярность не обязательно должна быть жестко детерминирована. Напротив, многие явления, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, управляются лишь *статистическими вероятностными законами.* Таким образом, нужно ввести регулярность в статистическом смысле. Как следствие математически пространство состояний становится очень сложным.

Для того чтобы формализовать восприятие производства, нужно будет уточнить понятие регулярности. В дальнейшем будет показано, что *комбинаторная регулярность* (теория образов) логически конформна концепциям, которые охарактеризованы выше.

Далее мы будем предполагать для простоты, что алгебра *Г глобально свободна* в соответствии с $\sigma$ в том смысле, что если остовы конфигурации $\overline{c}_1,\overline{c}_2\in\Sigma$, то остов соединенных конфигураций $\sigma(\overline{c}_1,\overline{c}_2)\in\Sigma$.

Таким образом, в случае единственного бинарного соединителя $\sigma$ алгебраическую структуру $\Gamma$ можно представить с помощью набора таблиц — *таблиц преобразований подобия* и *композиционных таблиц.* Первые показывают, каким образом копи связаны друг с другом, и могут иметь вид, подобный табл. 4.1; первая из этих таблиц представляет $s_1 : I \to s_1 I$, вторая — $s_2 : I \to s_2 I$ и т. д. для всех $s \in S$. Мощности S и $\Gamma$, естественно, не должны быть счетными.

Композиционные таблицы показывают, каким образом некоторая пара $I_1, I_2$ объединяется при помощи соединителя σ, что приводит к получению $I = \sigma(I_1, I_2)$, если оно определено, или к $N$, если соответствующее значение не определено. Композиционная таблица имеет вид, подобный табл. 4.2. При работе не с одним, а несколькими соединителями нам требуется, естественно, несколько композиционных таблиц.

Таблица 4.1

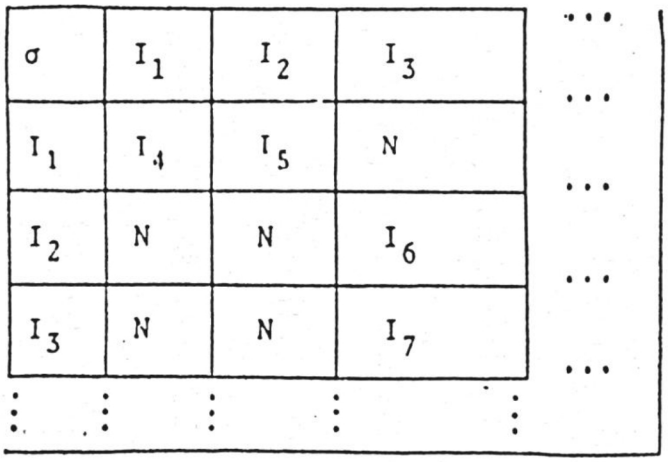
| $s_1$-таблица | |
|---|---|
| $I_1$ | $I_1$ |
| $I_2$ | $I_2$ |
| $I_3$ | $I_3$ |
| ⋮ | ⋮ |

| $s_2$-таблица | |
|---|---|
| $I_1$ | $I_2$ |
| $I_2$ | $I_3$ |
| $I_3$ | $I_4$ |
| ⋮ | ⋮ |

| $s_3$-таблица | |
|---|---|
| $I_1$ | $I_3$ |
| $I_2$ | $I_4$ |
| $I_3$ | $I_5$ |
| ⋮ | ⋮ |

Таблицы преобразований подобия и композиции далеко не произвольны. Характер таблиц преобразований подобия определяется тем обстоятельством, что $S$ — это некоторая группа преобразований, так что эти таблицы представляют перестановки изображений, конечные или бесконечные

Таблица 4.2




Композиционная таблица для $\sigma$ строится с учетом того ограничения, что должна иметь место *условная дистрибутивность,* т. е. соотношение

$$s\sigma(I_1, I_2) = \sigma(sI_1, sI_2) \tag{4.18}$$

должно выполняться, когда соответствующие комбинации определены.

*Условная коммутативность* имеет место не всегда:

$$\sigma(I_1, I_2) = \sigma(I_2, I_1) \tag{4.19}$$

(когда определена только одна часть равенства), но на самом деле это — исключение. Нетрудно, следовательно, привести примеры случаев невыполнения условной коммутативности, скажем, когда $\sigma$ представляет операцию конкатенации функций на интервалах действительной оси.

*Условная ассоциативность,* т. е.

$$\sigma(\sigma(I_1, I_2), I_3) = \sigma(I_1, \sigma(I_2, I_3)) \tag{4.20}$$

(когда определена только одна часть равенства), требует более тщательного изучения.

Для того чтобы убедиться в выполнении соотношения (4.20), необходимо установить, что множество замкнутых связей, образующееся в результате двукратного «применения» $\sigma$ в левой части (4.20), равно множеству, возникающему в результате «применения» $\sigma$ в правой части (4.20). Это явно достаточное условие. Оно не обязательно необходимое: это зависит от $\mathfrak{R}$, но в некотором общем смысле, при отсутствии определенных

допущений относительно $\Re$ — мы должны проверять это условие. Если, например, $\Re$ означает «тождество», то изображение совпадает с конфигурацией и в этом случае условие является и необходимым, и достаточным.

С общих позиций синтеза СП следует отметить, что сформировано некоторое пространство конфигураций

$$b(R) = \langle G, S, R \rangle \tag{4.21}$$

с локальной регулярностью, представляемой отношением связи $\rho$, и глобальной регулярностью, определяемой типом соединения $\Sigma$, так что общая регулярность определяется как

$$R = \langle \rho, \Sigma \rangle \tag{4.22}$$

При переходе к алгебре изображений $\Gamma = b(R)/\Re$ соответствующей случаю наличия наблюдателя, мы более не в состоянии автоматически «видеть» компоненты выражений (4.21) и (4.22), за исключением преобразований подобия $S$, поскольку правило идентификации $\Re$ может скрывать такую информацию от наблюдателя. Естественно, преобразования подобия, входящие в $S$, известны наблюдателю — в противном случае он не был бы в состоянии формировать копии $s\,I$ заданного изображения $I$.

Для того чтобы зафиксировать нашу позицию, рассмотрим единственное двоичное соединение $\sigma$, частично определенное на $\Gamma$. Это означает, что мы не обращаем внимания на характер других соединителей, которые можно было бы задать на $\Gamma$ не затрагивая собственно алгебру изображений. Для того чтобы подчеркнуть это обстоятельство, будем рассматривать $\Gamma \times \Gamma$ в качестве некоторой (частичной) области определения $\sigma$ и будем говорить об алгебре изображений $\Gamma$, *заданной посредством* $\sigma$.

Комбинаторная регулярность имеет алгебраический характер и может изучаться с позиций частичной универсальной алгебры. В то же время она является основой и других математических структур, как, например,

функции, и, как мы убедимся ниже, топологий. Под последней в данном случае мы подразумеваем понятия окрестности, сходимости и непрерывности, но не топологии, характеризующие глобальную регулярность посредством типа соединения.

Мы введем некоторую топологию на множестве всех конечных регулярных конфигураций и соответствующих изображений. Естественно, эта топология не обладает какими-то уникальными свойствами и в зависимости от конкретной ситуации мы можем предпочесть ей топологии иных типов.

## КОММЕНТАРИИ

Вопрос определения организации и управления, системы и структуры, как философских или естественно научных понятий является весьма важным, так как с этим понятием связывается развитие представлений об общих принципах структурной организации, которые выступают в качестве ориентиров в познании любых систем.

Современная наука освободилась от одностороннего представления об организации, соединив две стороны единого целого – структурный и функциональный аспекты, а так же представления о системах управления сложными процессами, в частности технического обслуживания.

В данном учебном пособии впервые в рамках подготовки магистров по специальности « Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» разработаны теоретические основы

решения задач проектирования сложных систем производства и описаны варианты их реализации.

Содержание и характер процесса решения задачи проектирования описаны в ряде исследований, где отмечается, что проектирование – это слабоструктурированный процесс, в котором выделяют два (внешнее и внутреннее проектирование) или более подпроцессов (этапов, стадий). Указывается, что начальная стадия задачи проектирования - формирование технического задания на разработку объекта, а конечный подпроцесс – оформление комплекта технической документации, необходимой и достаточной для изготовления или реализации объекта в производственных условиях. Отмечается, что в процессе проектирования сочетаются две тенденции: генерация потенциальных альтернатив, возможных вариантов решения задачи и усечение их выявленного множества путем сопоставления и другими способами оценки, включая исследование и испытание натурных моделей и опытных образцов объекта. При этом широко используется последовательная редукция сложности решаемой задачи, т.е. производится поиск результатов, являющихся промежуточными и вспомогательными для достижения конечных целей. При проектировании различных объектов широко применяется вариантное проектирование. Оно реализуется за счет использования различных принципов построения рассматриваемых объектов; различных по степени полноты содержания и структуре их моделей; различной параметризации каждой из выбранных моделей объекта проектирования.

Таким образом:

1. Предложенный математический аппарат является эффективным инструментом анализа проблем формализации представления сложных систем и действий над ними.

2. Предложенное уравнение фундаментальной обобщенной сложных систем позволяет эффективно решить задачи, возникающие на различных этапах производства этих сложных систем.

3. Определена последовательность формирования моделей в процессе проектирования.

Предложенный подход позволяет разработать методы и средства представления объектов контроля и диагностики, теорию и практику формирования исходного множества диагностических признаков объектов технического обслуживания и ремонта, концептуальные основы синтеза технологий.

Учебное пособие, представляющее теоретические основы синтеза систем диагностического управления может быть полезным для аспирантов, инженерно-технических работников, специализирующихся в области анализа и синтеза сложных технических систем обслуживания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]: [пер. с англ.]. В 3-х т. Т.1 Синтез образов / У. Гренандер. – М.: Мир, 1979. – 383 с.

2. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]: [пер. с англ.]. В 3-х т. Т.2 Анализ образов / У. Гренандер. – М.: Мир, 1981. – 448 с.

3. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]: [пер. с англ.]. В 3-х т. Т.3 Регулярные структуры / У. Гренандер. – М.: Мир, 1983. – 432 с.

4. Крон, Г. Тензорный анализ сетей [Текст]: [пер. с англ.] / Г. Крон – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.