

77-30569/253373 Инженерно-графовая методика проектирования оптико-электронного сканирующего устройства кругового обзора пространства (ОЭСУ КОП)

10, октябрь 2011

авторы: Немтинов В. Б., Жирнов А. А., Степанов К. В.

УДК 535; 59.03; 62; 681.2; 519.178

МГТУ им. Н.Э. Баумана

vnemtinov@mail.ru; vbnemtinov@bmstu.ruaaamizhirnov@mail.ruthefrost@list.ru

В приборостроении ведущая роль принадлежит проектным работам. Результатом проектирования служит полный комплект технической документации – документный прообраз еще не существующего технического объекта. Он содержит сведения, достаточные для изготовления объекта в заданных условиях. Процесс проектирования нового прибора и последующий анализ его свойств является весьма трудоёмкой задачей. Её эффективному решению способствует применение проектных графовых моделей, разработанных в рамках структурной теории оптико- и лазерно-электронных систем (ОиЛзЭлнС), созданной В.Б.Немтиновым [1].

Раздел I. Семизатная инженерно-графовая методика проектирования ОиЛзЭлн приборов и комплексов как проектная реализация этапно-модельного синтеза ОиЛзЭлн систем

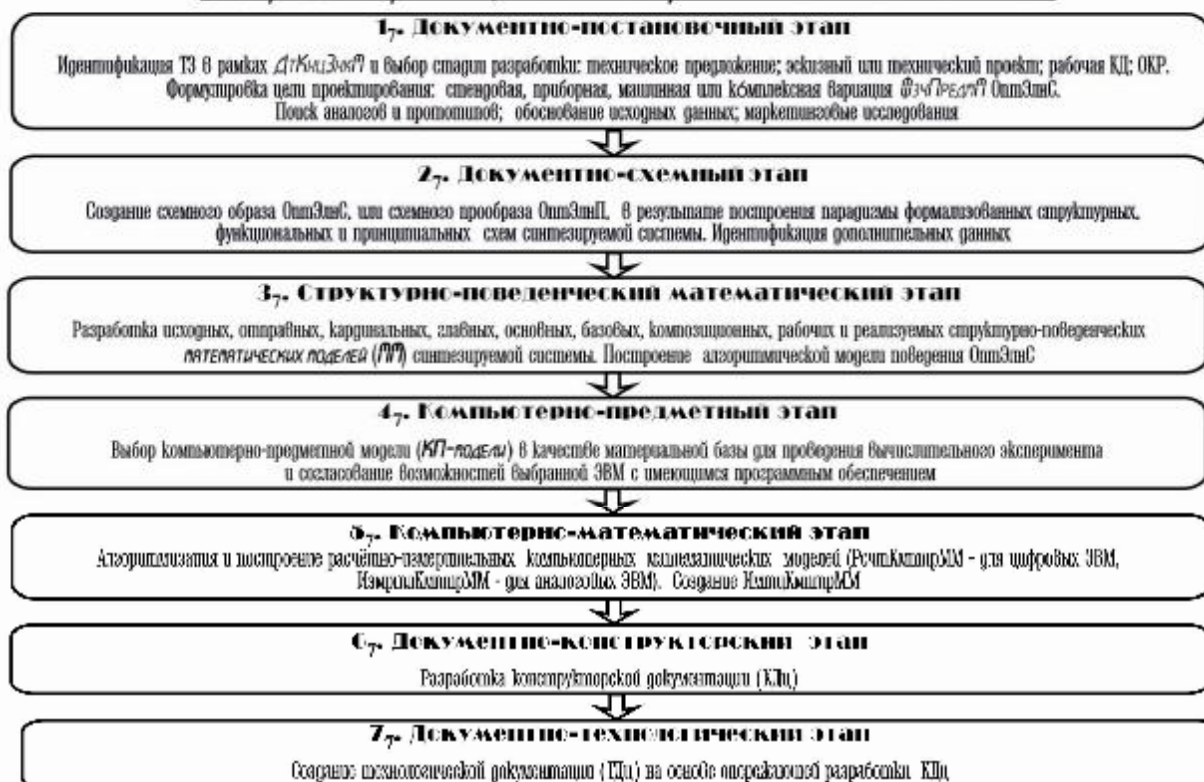


Рис. 1. Общая простая септарная орцепь (первая графовая целевая функция) проектной реализации этапно-модельного синтеза оптико-электронных систем (ОптЭлнС) как концептуально-графовый математический прообраз процесса проектирования оптико-электронных приборов «ОптЭлнП» и комплексов

Графовые целевые функции задачи проектирования. Имеющийся опыт *построения технических объектов* показывает, что в основе этого процесса лежит построение семи факторных этапов [2]. Формулировка задачи проектирования начинается с идентификации порядка разработки этих этапов с помощью исходных графовых целевых функций. На физико-техническом языке каждая целевая функция представляет собой проектную маршрутную карту, которая задаёт цель проектирования как этапный графовый путь. В частности, первая графовая целевая функция (рис. 1) в виде канонической общей простой септарной орцепи *проектной реализации* этапно-модельного синтеза (ЭМС) описывает формирование комплекта технической документации и, тем самым, задаёт разрабатываемый проект как графовую цель.

Орцепь включает в себя семь этапов: 1₇ – документно-постановочный (ДтПост); 2₇ – документно-схемный (ДтСх); 3₇ – структурно-поведенческий математический (СтрПоведнчМатем); 4₇ – компьютерно-предметный (КмптрПредм); 5₇ – компьютерно-математический (КмптрМатем); 6₇ – документно-конструкторский (ДтКонстр); 7₇ – документно-технологический (ДтТехнлг). С помощью этих этапов создаётся методология проектной реализации ЭМС, которая является **концептуально-графовым математическим прообразом** процесса проектирования. Физико-технический смысл ЭМС состоит в последовательном прохождении этапов септарной орцепи и наполнении их моделями за счёт введения как прямых рёберных связей от этапов к моделям, так и обратных рёберных связей от моделей к этапам [2].

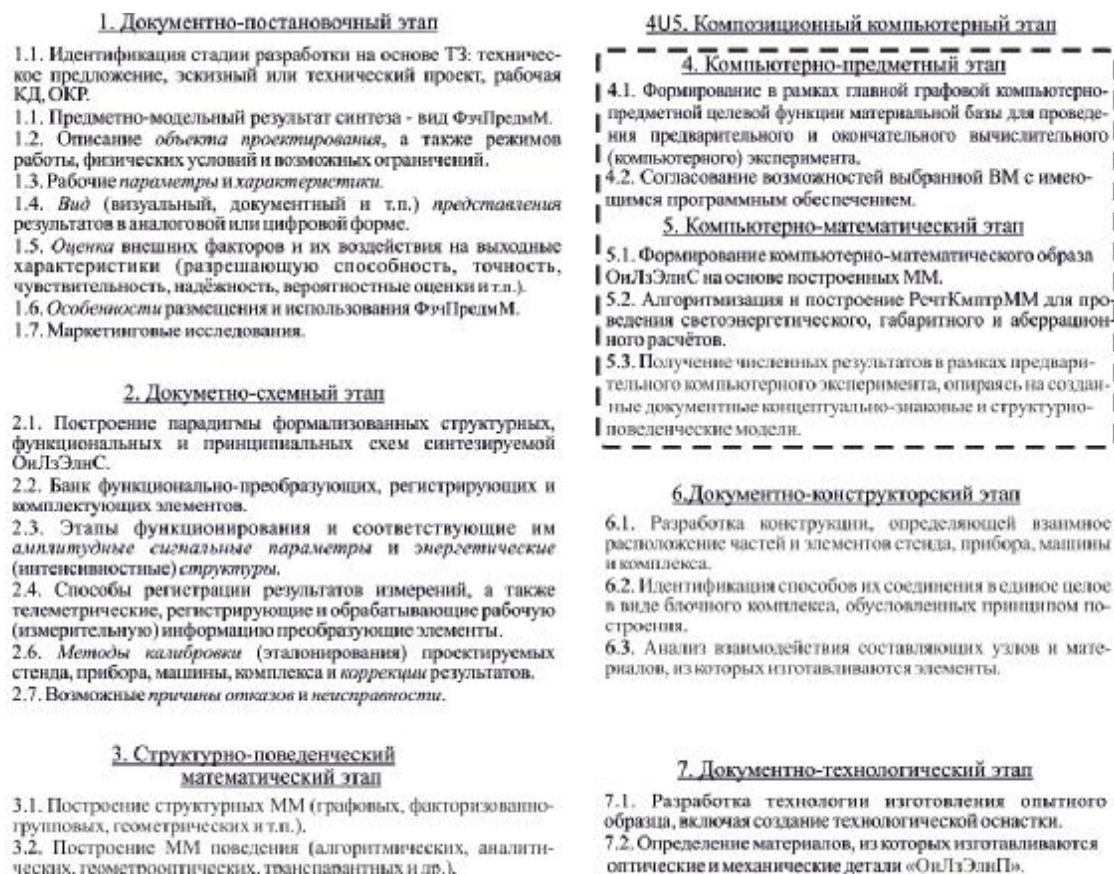


Рис. 2. Матричное представление 3x2 общей простой септарной орцепи проектной реализации этапно-модельного синтеза ОптЭлнС

В результате септарная графовая целевая функция (рис. 1) задаёт итоговый концептуально-знаковый модельный прообраз технического объекта (проект) в виде предварительного **модельного наполнения** каждого синтезируемого этапа. В рамках эквивалентного матричного представления (рис. 2) общей простой септарной орцепи дано детальное описание основных **модельных компонент**, которые необходимо прорабатывать в процессе проектирования. При этом содержание этапов орцепи детально раскрывается с помощью матричных элементов, наполняющих конкретикой цель проектирования.

Это, прежде всего, известные модельные представления большинства разрабатываемых оптико-электронных приборов: ТЗ, стадии проектирования, параметры и характеристики, схемы и т.п. В результате появляется возможность **в наглядном виде на модельном языке** визуализировать процесс *проектирования* технического объекта как процесс накопления комплекта технической документации от **исходного когнитивного замысла** до **разработки конструкторской и технологической документации**. На каждом этапе создаются модели определённого класса в соответствие с контекстом матричного элемента.

Однако основным недостатком простой орцепи является отсутствие **обратных связей** между этапами проектной реализации ЭМС [3]. Современный уровень сложности процесса проектирования любого прибора с целью его оптимизации требует введения прямых и об-

ратных межэтапных рабочих связей, что корректно можно осуществить только на графовом языке. Тот факт, что информация о пройденном этапе не обязательно сразу должна поступать на следующий этап, а может использоваться для коррекции любого из предыдущих и/или последующих этапов, идентифицируется с помощью циклического $C_7^{\text{проект}}$ или полного регулярного $K_7^{\text{проект}}$ семиэтапных графов (рис. 3).

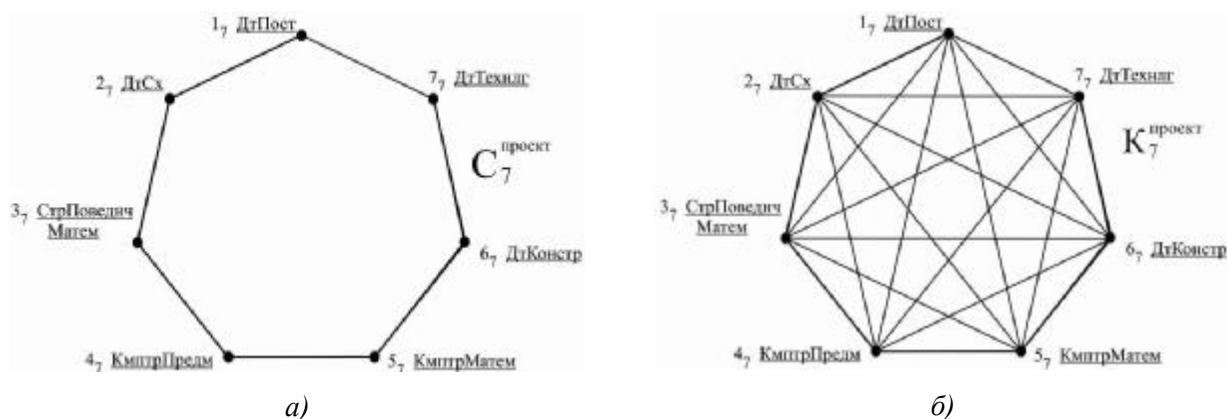


Рис. 3. Графическое изображение всех прямых и обратных межэтапных связей проектного ЭМС, идентифицируемых рёбрами семиэтапных графов $C_7^{\text{проект}}$ и $K_7^{\text{проект}}$:

а) циклический граф $C_7^{\text{проект}}$ ЭМС (с 14-ю прямыми и обратными межэтапными связями, в том числе, с двумя замыкающими); б) полный граф $K_7^{\text{проект}}$ ЭМС (со всеми 42-мя прямыми и обратными межэтапными связями)

Введение *прямых и обратных межэтапных связей* в семиэтапной орцепи начинается с построения второй графовой целевой функции в виде семиэтапных проектных графов $C_7^{\text{проект}}$ и $K_7^{\text{проект}}$ ЭМС. Циклический семиэтапный проектный граф $C_7^{\text{проект}}$ подчёркивает замкнутый характер *проектного ЭМС* (рис. 3а) и, в частности, показывает, что заключительные шестой конструкторский и седьмой технологический этапы могут привести к существенному изменению в постановке задачи проектирования. Кроме того, из анализа графа $C_7^{\text{проект}}$ следует, что введение такой естественной замыкающей обратной связи "Документно-технологический – Документно-постановочный этапы" подчёркивает необходимость задания всех дополнительных обратных связей между различными этапами. Для идентификации всех прямых и обратных межэтапных связей в общей простой проектной орцепи (рис. 1) переходят к полному регулярному проектному семиэтапному графу $K_7^{\text{проект}}$ ЭМС (рис. 3б). Так как граф $C_7^{\text{проект}}$ имеет 7 рёбер, а граф $K_7^{\text{проект}}$ – 21 ребро, то возникает ещё 14 дополнительных неучтённых обратных связей. Обратные связи стадий разработки вводятся на рис. 4.

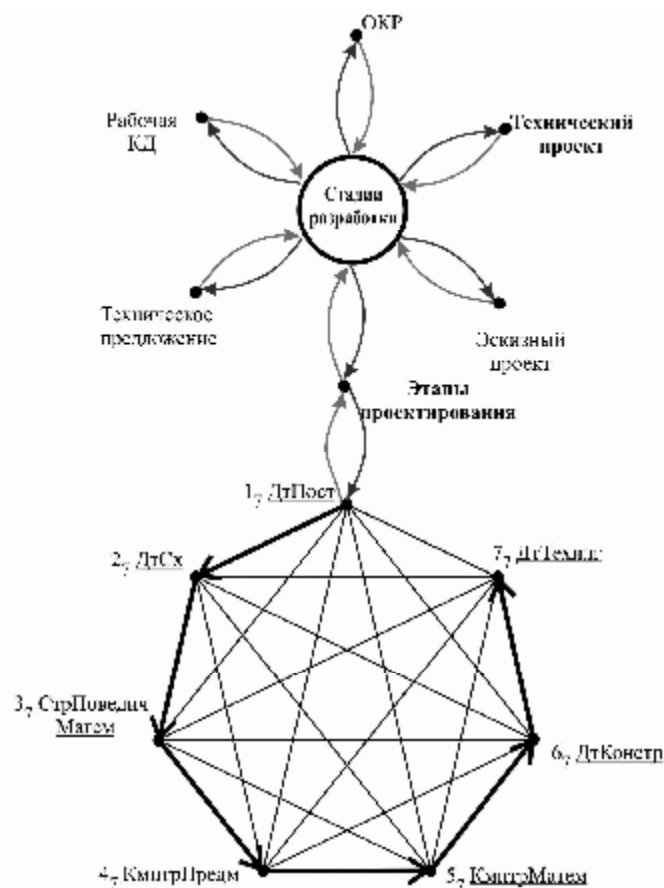


Рис. 4. Композиционный граф, состоящий из двух подграфов ЭМС: постановочного звёздного подграфа $K_{1,5}^{\text{звезд}}$ и полного проектного подграфа $K_7^{\text{проект}}$

В соответствии с ГОСТами **построение** простой септарной орцепи (рис. 1) проектной реализации этапно-модельного синтеза ОптЭлнС проводится для одной из пяти стандартизуемых стадий разработки, которые задают **проектный вход** для графовой методологии проектирования. К ним относятся: 1) *техническое предложение*; 2) *эскизный проект*; 3) *технический проект*; 4) *рабочая конструкторская документация (КД)*; 5) *опытно-конструкторская работа (ОКР)*. Для задания прямых и обратных связей между пятью стадиями разработки и установления их связей с проектными этапами вводят третью графовую целевую функцию в виде композиционного графа (рис. 4), состоящего из двух подграфов: постановочного звёздного графа $K_{1,5}^{\text{звезд}}$ стадий разработки и полного проектного графа $K_7^{\text{проект}}$.

На основе введённых графовых целевых функций процесс проектирования сводится к модельному наполнению каждого синтезируемого этапа септарной орцепи (рис. 1) и эквивалентного матричного представления (рис. 2) с учётом всех прямых и обратных межэтапных связей (рис. 3 и 4). Для наполнения этого подхода физико-техническим смыслом рассмотрим в рамках технического проекта проектирование оптико-электронного сканирующего

устройства кругового обзора пространства (ОЭСУ КОП).

На основе **первого документно-постановочного этапа** ЭМС, прежде всего, формулируется **ТЗ**, с помощью которого последовательно анализируются **пять стандартизуемых стадий разработки** (рис. 4). В рамках рассмотрения *технического предложения* осуществляется подбор конструкторских документов (КД), которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации на основе сравнительного анализа данных ТЗ и различных вариантов возможных решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей. Техническое предложение является фундаментом для разработки эскизного и технического проектов.

Эскизный проект – это совокупность КД, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные о назначении, основных параметрах и габаритных размерах. Он является основанием для перехода к техническому проекту или рабочей КД.

КД технического проекта содержит окончательные технические решения, которые дают полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и включает в себя исходные данные для разработки рабочей КД.

Рабочая КД предназначена для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) или серийного (массового) производства. Она разрабатывается с целью: 1) проверки принципов работы изделия или его составных частей на стадии эскизного проекта; 2) проверки основных конструктивных решений изделия на стадии технического проекта; 3) предварительной проверки целесообразности изменения отдельных частей изготавливаемого изделия до внесения этих изменений в документы опытного образца.

Опытно-конструкторская работа (ОКР) – это комплекс работ, выполняемых на основании ТЗ, по созданию конструкторско-технологической документации, изготовлению и испытаниям опытных и мелкосерийных образцов продукции, предшествующий запуску нового продукта или системы в промышленное производство.

ТЗ является исходным описанием (первичным документным прообразом) технического объекта в виде оптико-электронного сканирующего устройства кругового обзора пространства (ОЭСУ КОП). Оно определяет **постановку задачи**: что компенсируется (поворот изображения относительно оптической оси); как компенсируется (поворотом оптического элемента); чем компенсируется (призмой Пехана); какова оценка погрешностей метода сканирования. В рамках **ТЗ** задаются все исходные данные, и оговаривается проектный результат ЭМС – конструкторско-технологическая документация.

В рамках **ТЗ** дополнительно ставится задача *поиска оптимальных путей проектирова-*

ния с учётом *прямых и обратных межэтапных связей* и *веса каждого этапа* на основе **принципиально нового этапного количественного критерия качества проектирования**.

На втором документно-схемном этапе ЭМС построены схемные модели, идентифицирующие поведение оптико-электронной системы кругового обзора пространства. Разработана исходная структурная схема оптико-электронной системы (рис. 5). Предложена функциональная оптическая схема системы на основе панорамы Герца с использованием призмы Пехана (рис. 6). Построена структурно-функциональная схема системы, описывающая процесс сканирования и компенсации поворота изображения (рис. 7).

Принцип действия устройства поясняют рис. 5 – 7 с единой нумерацией позиций. Объектив 5.1 формирует изображение анализируемых объектов пространства в передней фокальной плоскости окуляра 5.2. Для компенсации поворота изображения при вращении зеркала (призмы) 2 используется призма Пехана 3, которая с помощью двигателя 16 через редуктор (шестерни 6 – 13) поворачивается вместе с этим отражателем на угол в два раза меньший. Для изменения направления вращения включается реверс двигателя с помощью переключателей 17. В пределах поля зрения оптической системы дисайдер (рис. 5) наблюдает либо визуальное изображение через окуляр (рис. 5.2), либо изображение объекта на экране индикатора 18, полученное с использованием ИК-приёмников излучения (рис. 7).

На третьем структурно-поведенческом математическом этапе проектного ЭМС построена структурная схема (рис. 8) простейших расчётно-формульных моделей поведения (РсчтФормулМП) в виде набора формул для проведения кинематического, силового и геометрического расчётов. С учётом рис 7 определяются угол поворота потенциометра 15, ход гайки группы переключателей 17, параметры редуктора, мощность двигателя 16, габариты призмы Пехана 3.

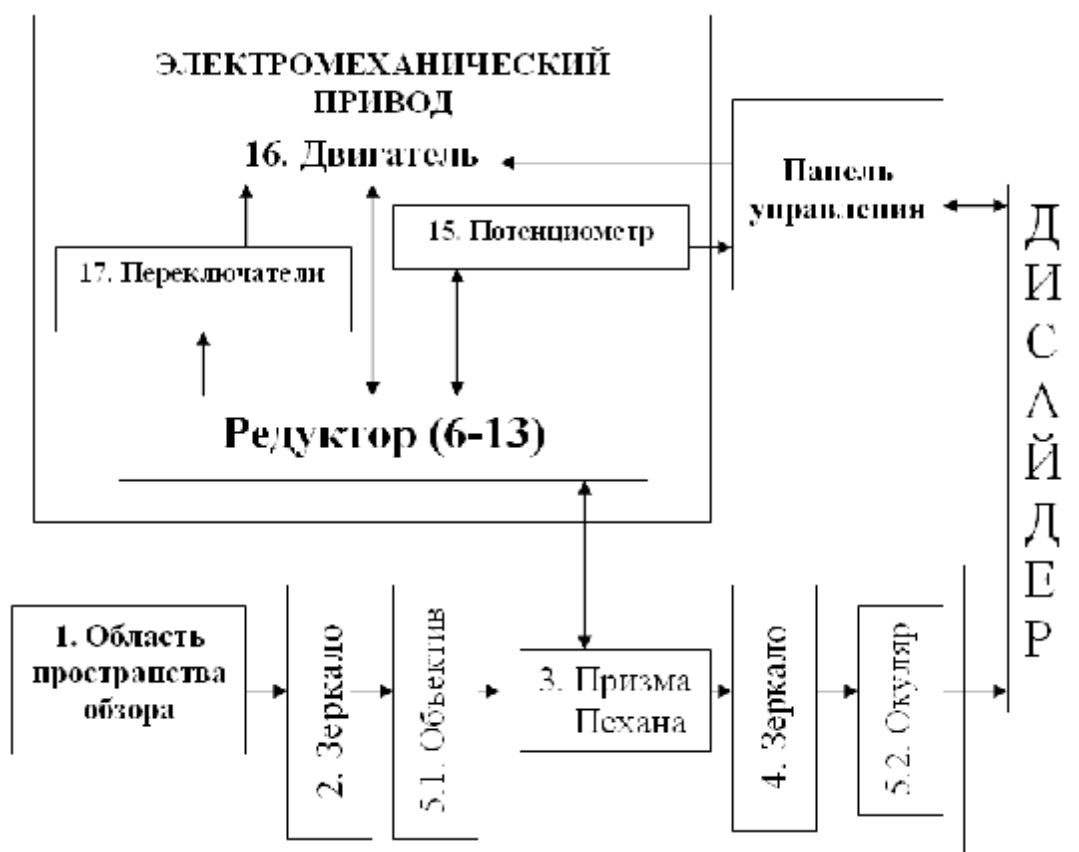


Рис. 5. Структурная схема оптико-электронной системы кругового обзора пространства

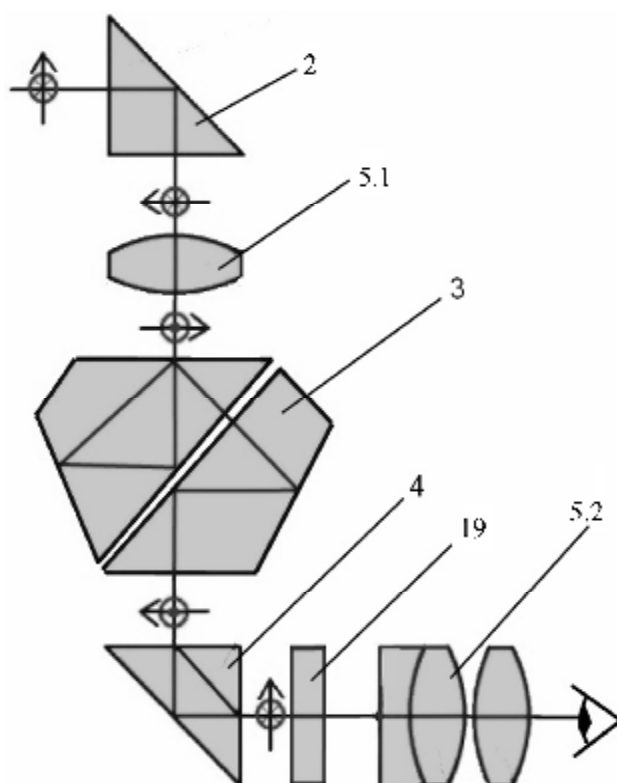


Рис. 6. Функциональная оптическая схема оптико-электронной системы кругового обзора пространства на основе панорамы Герца с использованием призмы Пехана:

- 2 – поворотная прямоугольная призма (зеркало);
- 3 – поворотная призма Пехана;
- 4 – прямоугольная призма с крышей (зеркало)
- 5.1 – объектив;
- 5.2 – окуляр
- 19 – сетка;

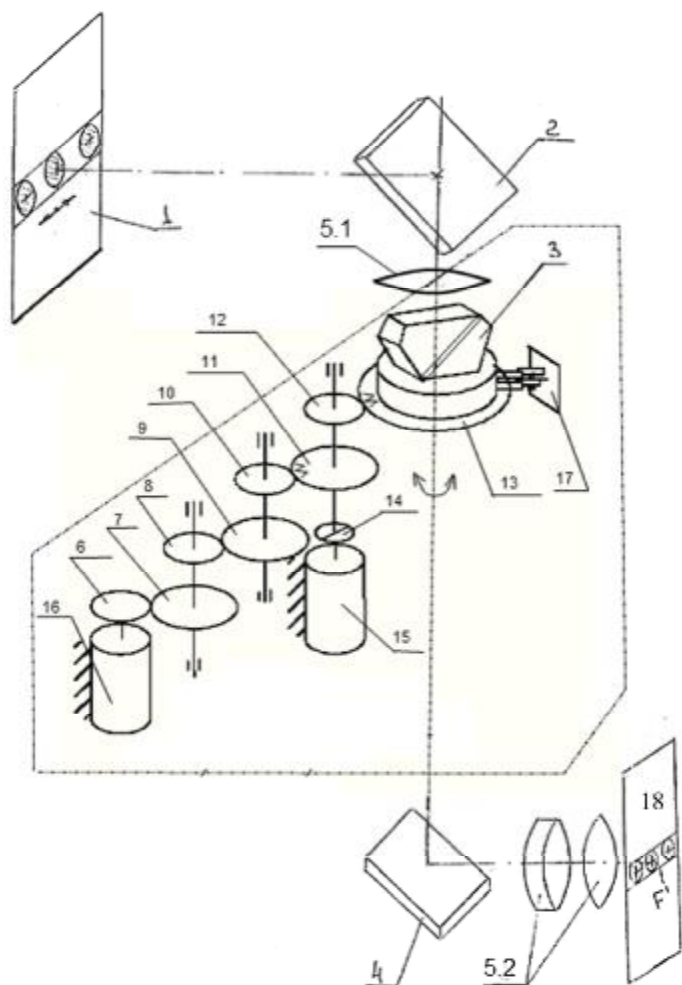


Рис. 7. Структурно-функциональная схема оптико-электронной системы кругового обзора пространства:

1-область пространства обзора;
2, 4-зеркала (призмы);
3-поворотная призма Пехана;
5.1-объектив;
5.2-окуляр;
6,7,8,9,10,11,12,13-зубчатые Шестерни редуктора;
14 – поводковая муфта;
15- потенциометр;
16-двигатель;
17 - переключатели направления вращения (контактная группа);
18 – индикатор



Рис. 8. Расчётно-формульные модели поведения для проведения кинематического, силового и геометрического расчётов люфтовывбирающего колеса

На четвертом компьютерно-предметном и пятом компьютерно-математическом

этапах ЭМС на основе построенных моделей выполняются габаритный, кинематический и точностной расчёты оптико-электронной системы кругового обзора пространства с помощью программы "MathCAD".

На шестом документно-конструкторском этапе ЭМС в рамках технического проекта вырабатываются требования к конструкции узлов стенда. Разрабатываются чертёж общего вида, габаритно-монтажный чертеж, чертежи сборочных единиц и рабочая КД.

На седьмом технологическом этапе проектного ЭМС строится структурная схема сборки узла компенсации поворота изображения.

Таким образом, в результате проведения проектного ЭМС осуществлено наполнение конкретными моделями матричных элементов для всех синтезируемых этапов общего матричного представления, приведённого на рис. 2. На его основе построено конкретное матричное представление для оптико-электронной сканирующей системы кругового обзора пространства (рис. 9), содержащее все разработанные модельные представления: постановочные, схемные, математические, компьютерные, конструкторско-технологические.

- 1. Документно-постановочный этап**
- 1.1. Стадия разработки - технический проект в рамках индивидуального ТЗ, созданного на основе обобщенного ТЗ.
- 1.2. Предметно-модельный результат синтеза - реализация макетного образца «ОМСУ КОП» на основе призмы Пехана, которое предназначено для ОЭП наблюдения и угловых измерений, а также тренажерных комплексов различного целевого назначения.
- 1.3. В рамках ТЗ:
- 1.3.1. На основе структурно-функциональной (СтрФункц) схемы описана:
- 1.3.1.1. Работа устройства;
- 1.3.1.2. Возможная форма представления результатов наблюдения.
- 1.3.2. Сформулированы основные и дополнительные требования.
- 1.3.3. Заданы характеристические параметры устройства;
- 1.3.4. Дано содержание графической части.
- 1.3.5. Сформулировано содержание РПЗ.
- 2. Документно-схемный этап**
- 2.1. Детально проработаны геометро-оптические схемы устройства.
- 2.2. Разработка композиционной децимарной парадигмы, состоящей из двух рабочих парадигм: квинтарной схемной парадигмы и квинтарной парадигмы математических моделей:
- 2.2.1. Квинтарная схемная парадигма:
- 2.2.1.1. Тернарная подпарадигма структурных и структурно-функциональных схем оптико-механического сканирующего устройства кругового обзора пространства;
- 2.2.1.2. Унарная функциональная оптическая схема оптико-механического устройства на основе панорамы Герца с использованием призмы Шмидта-Пехана;
- 2.2.1.3. Унарная функциональная кинематическая схема оптико-механического сканирующего устройства кругового обзора пространства.
- 2.2.2. Квинтарная парадигма геометрических моделей ОМСС КОП.
- 3. Структурно-поведенческий математический этап**
- 3.1. Создание простейших расчетно-формульных поведенческих математических моделей в аналитическом геометрооптическом виде.
- 3.2. Список формул для аналитических расчетов берется в соответствии с ТЗ из рекомендованного списка литературы.

- 4У5. Композиционный компьютерный этап**
- 4. Компьютерно-предметный этап**
- 4.1. Выбор цифровой электронной компьютерно-предметной модели (ЦфрЭлнКПМ).
- 4.2. Согласование возможностей выбранной вычислительной машины (ВМ) с имеющимся программным обеспечением для оптимальной имитации поведения ОЭП.
- 5. Компьютерно-математический этап**
- 5.1. Формирование компьютерно-математического образа ОЭП на основе построенных математических моделей.
- 5.2. Построение расчетной компьютерной математической модели (РсчКмпрММ) на основе программ AutoCAD, MathCAD, Компас.
- 5.3. Вычисление погрешности вращения оптического элемента в рамках компьютерного эксперимента, основанного на созданных структурно-поведенческих моделях.
- 6. Документно-конструкторский этап**
- 6.1. Разработка чертежа общего вида сборочного узла компенсации поворота изображения ОМСУ КОП, содержащего данные, определяющие конструкцию изделия, взаимное расположение составных частей и их взаимодействие.
- 6.2. Разработка габаритного чертежа устройства, содержащего контурное упрощенное изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами.
- 6.3. Создание чертежей сборочных единиц и деталей, содержащих изображение этих изделий и другие данные, необходимые для их изготовления, обработки, хранения, транспортировки, сборки и контроля.
- 7. Документно-технологический этап**
- 7.1. Определение материалов, из которых изготавливаются оптические и механические детали ОМСУ КОП: вид стекла для оптики и марка стали для механических деталей.
- 7.2. Создание методики и разработка операционных эскизов технологического процесса изготовления, сборки и юстировки ОЭП.

Рис. 9. Матричное представление 3x2 простой септарной орцепи проектной реализации этапно-модельного синтеза оптико-электронной сканирующей системы кругового обзора пространства как концептуально-графовый математический прообраз процесса проектирования «ОЭСУ КОП»

Оптимизация путей проектирования на основе идентификации критериев качества с помощью графовых обратных связей. В рамках *структурной теории ОиЛзЭлнС*, созданной В.Б. Немтиновым, *параметры (критерии) качества К* любой системы – это отношения различной арности на специфических множествах: внешних (в частности, входных и выходных сигналов) и внутренних параметров и характеристик [4]. Например, это бинарная связь массы с габаритами, разрешения с контрастом, а также *затрат* с экономической эффективностью.

В общем случае, *затраты* идентифицируют *вес (значимость) каждого этапа*, который определяется: 1) израсходованным *временем проработки* этапа; 2) видом и *количеством* используемых на этапе *моделей*; 3) *числом* принимаемых на нём *решений* (подэтапов); 4) *количеством прямых и обратных межэтапных рабочих связей*; 5) совокупностью выходных параметров и характеристик; 6) *финансовыми затратами*. На графовом языке *вес* каждого *этапа* интерпретируется как длина отходящего ребра.

Особое значение при определении требуемого *времени* и **финансовых затрат** в процессе построения прибора имеет тот факт, сколько, какие модели и в каком порядке используются (например, "затраченное время – количество прямых и обратных межэтапных рабочих связей").

В рамках выполнения технического проекта найдены веса некоторых прямых и обратных межэтапных переходов в виде времени, затраченного на их проработку. В качестве примера на рисунке 10 часы задан вес отдельных отходящих рёбер в часах, найденных в результате оценки времени проработки этапа.

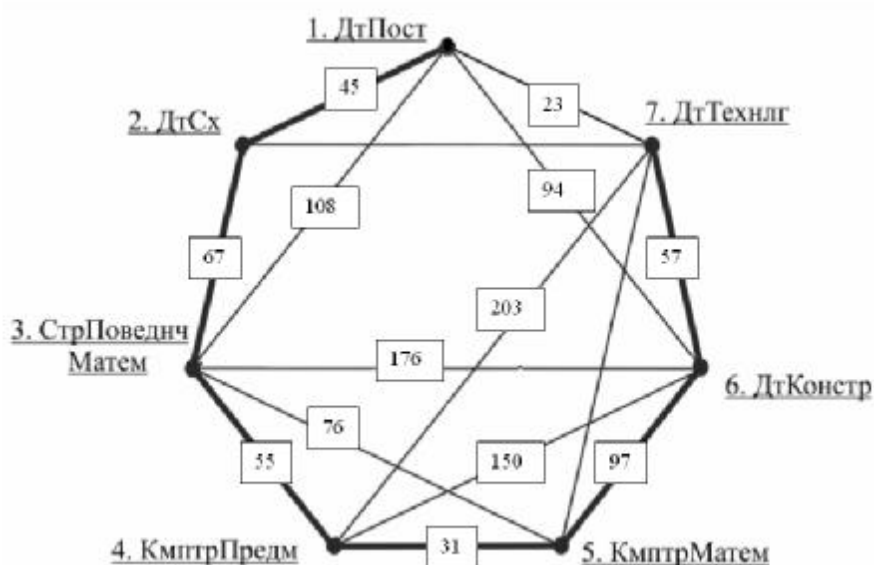


Рис. 10. Неполный проектный граф с заданным весом ряда рёбер в часах

В разрабатываемом узле компенсации поворота изображения в системе особый интерес представляет подузел оптического элемента на основе призмы Пехана. Он состоит из собственно призмы в сборе, крепежного стакана, зубчатого люфтовывбирающего колеса, выполненного в виде полого вала с выступом, подшипника, крепежных колец и установочной втулки. С целью поиска оптимальных путей синтеза с учётом веса каждого этапа рассмотрено применение метода графовых обратных связей для устранения двух технических противоречий при проектировании этого подузла. Для их устранения используются расчётно-формульные модели поведения (рис. 8).



Рис. 11. Устранение технических противоречий с помощью единственной графовой обратной связи в рамках семиэтапного проектного подграфа $K_7^{\text{проект}}$ ЭМС:

- а) графовое согласование положения паза и ширины выступа;
- б) графовое согласование диаметров зубчатого колеса и отверстия

Проблема 1. На документно-конструкторском этапе 6 (рис. 11а) при изготовлении чертежа зубчатого колеса в результате расчёта возникает *первое техническое противоречие*: расчётный паз b для крепления пружины выходит за пределы выступа B на колесе (рис. 11).



Рис. 12. Элементы конструкции зубчатого колеса:

- а) первоначальное неприемлемое решение;
- б) окончательное техническое решение, полученное по методу графовых обратных связей

Для устранения этой проблемы устанавливаются связи между этапом 6 (недостаточная ширина выступа B для размещения пружины), структурно-поведенческим математическим

этапом 3 (на нём определяются формулы для пересчета диаметра колеса) и **компьютерными этапами 4 и 5** (собственно вычисления). С этой целью используется графовая обратная связь 6→3 на **рис. 11а**. На **этапе 3** определяем расчётно-формульный оператор для нахождения делительного диаметра ДД колеса, идентифицируемый на основе алгоритма для вычисления ширины паза под пружину люфтовывбирающего колеса, так что

$$\mathcal{P}_{\text{дд}} : m, z \rightarrow d \quad (d = m \cdot z). \quad (1)$$

С помощью формулы (1) вычисляем новый, *увеличенный* ДД колеса, устраняющий возникшее техническое противоречие.

Проблема 2. При переходе от **документно-конструкторского этапа 6** к **документно-технологическому этапу 7** (**рис. 11б**) возникает *второе техническое противоречие*, связанное с невозможностью закрепления узла призмы Пехана на установочной плате редуктора. Это приводит к невозможности раздельной сборки редуктора и узла призмы Пехана из-за увеличения диаметра люфтовывбирающего колеса. Новый ДД колеса d превышает диаметр отверстия D_o в плате, в которое вставляется узел оптической призмы. Для решения этой проблемы возвращаемся по графовому пути 7→3 к **структурно-поведенческому математическому этапу 3**. С помощью расчётных формул (2) и (3), идентифицируемых с помощью алгоритма для вычисления диаметра отверстия D_o по диаметру колеса d , находим новый диаметр отверстия D_o и внешний диаметр втулки D_B соответственно, так что

$$\mathcal{P}_{\text{до}} : d \rightarrow D_o \quad (D_o = d + 1), \quad (2)$$

$$\mathcal{P}_{\text{дв}} : D_o \rightarrow D_B \quad (D_B = D_o + 10). \quad (3)$$

В рамках **компьютерных этапов 4 и 5** определяются искомые размеры, на основе которых на **этапе 6** выполняется чертеж платы. В итоге на **документно-технологическом этапе 7** устраняется противоречие технологического процесса сборки.

Выводы

Во-первых, на основе четырёх графовых целевых функций, представляющих собой проектные маршрутные карты, разработана инженерно-графовая методика проектирования ОЭСУ КОП. Она даёт возможность разработчику при отсутствии опыта проектирования подобных устройств увидеть, с чего надо начинать разработку, в какой последовательности двигаться и как с помощью межэтапных обратных связей **можно, нужно и должно** устранять встречающиеся **технические противоречия**. Фактически инженерно-графовая методика **проектного ЭМС** – это **технический протокол защиты** грамотного проектирования.

Во-вторых, в рамках принципиально нового этапного количественного критерия качества процесса проектирования в виде *весовых коэффициентов прорабатываемого этапа* проведена оптимизация этого процесса. Построен оптимальный путь проектирования ОЭСУ

КОП в результате оптимизации весовых этапных коэффициентов за счёт минимизации числа обратных связей.

В-третьих, рассмотренная качественно новая инженерно-графовая методика ЭМС служит модельным фундаментом *идентификации, формализации, систематизации и автоматизации* процесса проектирования.

Список использованных источников

1. Немтинов В.Б. Структурная теория оптико и лазерно-электронных систем. Ч.1. Модельное представление системы // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 1993. – №1. – С. 58-73.
2. Немтинов В.Б. Модельные факторы структурной теории оптико- и лазерно-электронных систем // [Электронный журнал "Наука и образование: электронное научно-техническое издание".] - № 0420800025/0016, вып. 4 (2008). 2008 // <http://technomag.edu.ru/doc/89026.html>
3. Немтинов В.Б., Сандригайло А.Ю. Инженерно-графовые методики проектирования, изготовления, экспериментальных испытаний и эксплуатации оптико- и лазерно-электронного прибора как реализации полного модельного синтеза системы. // Лазеры в науке, технике, медицине: Сб. научных трудов. Том 20 / Под ред. В.А.Петрова. – М.: МНТОРЭС им. А.С.Попова, 2009. – С. 20-24.
4. Немтинов В.Б. Элементы научных основ современного лазерно-электронного приборостроения. // Лазеры в науке, технике, медицине: Сб. научных трудов. Том 21 / Под ред. В.А.Петрова. – М.: МНТОРЭС им. А.С.Попова, 2010. – С. 144-152.

77-30569/253373 Engineering Graph Procedures of Optical-Electronic Circular Scanning De-vice Projection

10, October 2011

authors: Nemtinov V., B., Jirnov A., A., Stepanov K., V.

Based on four graph goal functions, representing the project road maps, engineering graph procedures of optical-electronic scanning device projection has been developed. Septenary oriented path of stage-model synthesis project realization, and its matrix representation have been considered. All of the direct and inverse interstage feedback have been analyzed. Seven project stages, such as formulation, schematic, mathematical, two computer, designing and technological have been worked out. The optimization of the projection based on the design quality criteria has been carried out with the help of graph feedback

Spisok ispol'zovannyh istochnikov

- 1.Nemtinov V.B. Strukturnaya teoriya optiko i lazerno-elektronnyh sistem. Ch.1. Model'noe predstavlenie sistemy // Vestnik MGTU. Priborostroenie. – 1993. – №1. – S. 58-73.
- 2.Nemtinov V.B. Model'nye faktory strukturnoi teorii optiko- i lazerno-elektronnyh sistem // [Elektronnyi jurnal "Nauka i obrazovanie: elektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie".] - № 0420800025/0016, vyp. 4 (2008). 2008// <http://technomag.edu.ru/doc/89026>. html
3. Nemtinov V.B., Sandrigailo A.Yu. Injenerno-grafovye metodiki proektirovaniya, izgotovleniya, eksperimental'nyh ispytanii i ekspluatacii optiko- i lazerno-elektronnogo pribora kak realizacii polnogo model'nogo sinteza sistemy. // Lazery v nauke, tehnike, medicine: Sb. nauchnyh trudov. Tom 20 / Pod red. V.A.Petrova. – M.: MNTORES im. A.S.Popova, 2009. – S. 20-24.
- 4.Nemtinov V.B. Elementy nauchnyh osnov sovremennogo lazerno-elektronnogo priborostroeniya. // Lazery v nauke, tehnike, medicine: Sb. nauchnyh trudov. Tom 21 / Pod red. V.A.Petrova. – M.: MNTORES im. A.S.Popova, 2010. – S. 144-152.