

ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ ЭТАПНО-МОДЕЛЬНОГО СИНТЕЗА ОПТИКО- И ЛАЗЕРНО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, ИДЕНТИФИЦИРУЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ КУБИЧЕСКИХ ГРАФОВЫХ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

В.Б.Немтинов. МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва (499) 263-6634,
email: vbnemtinov@bmstu.ru; vnemtinov@mail.ru

Введены прямые и обратные связи децимарной простой орцепи ЭМС ОиЛзЭлнС. Исследована двойная квинтарная глобальная орграфовая целевая функция. Для идентификации всех прямых и обратных связей построен ансамбль из пяти кубических графовых целевых функций. Проиллюстрировано применение метода графовых обратных связей.

В работе [1] рассмотрена инженерно-графовая методология этапного синтеза (ЭМС) оптико- и лазерно-электронной системы (ОиЛзЭлнС), которая лежит в основе разработки и апробации оптико- и лазерно-электронных приборов (ОиЛзЭлнП). Создаваемые в рамках такого подхода этапные графовые целевые функции идентифицируют физико-технический смысл ЭМС, упорядочивая этапные переходы за счёт введения как прямых, так и обратных рёберных связей. В классическом варианте, *целевая функция, или функция цели, – это название числовой оптимизируемой функции в задачах математического программирования при проектировании новых приборов*. В рамках ЭМС системы **любой граф при заданных начальной и конечной вершинах**, который описывает путь и идентифицирует *цель (вершину) моделирования*, следует рассматривать как **графовую целевую функцию**. Как следствие, факторно-графовые модельные представления *способны выразить* сложные ситуации в процессах разработки и апробации ОиЛзЭлнП в наглядной и сжатой форме на графовом языке, что *даёт возможность* разработчику "подняться" над существующими приборами и посмотреть на создание новых, например терагерцовых приборов, с единой общей точки зрения.

В рамках *целевого лепестка и лепестка обратных связей* 2-факторного графового цветка [2] введены прямые и обратные связи семиэтапного процесса проектирования $K_7^{\text{ПРОЕКТ}}$ и трёхэтапной инженерно-графовой методики изготовления и апробации $K_3^{\text{ИзгАпрб}}$ ОиЛзЭлнП [1]. В результате формируются циклические этапные связи, описывающие компонентные орциклы разработки и апробации приборов. Однако они не устраняют основной недостаток децимарной простой орцепи – отсутствие *всех обратных связей* как между этапами полного ЭМС системы, так в частности и между этапами его изготовительно-апробирующей реализации. Современный уровень разработки и апробации ОиЛзЭлнП в рамках ЭМС требует введения всех этапных обратных связей, что корректно можно осуществить только на графовом языке. Так как информация о пройденном этапе не обязательно сразу должна поступать на следующий этап, а может использо-

ваться для корректировки любого из предыдущих и/или последующих этапов, то это идентифицируется с помощью циклического $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ или полного регулярного $K_{10}^{\text{ЭМС}}$ десятиэтапных графов (рис. 1).

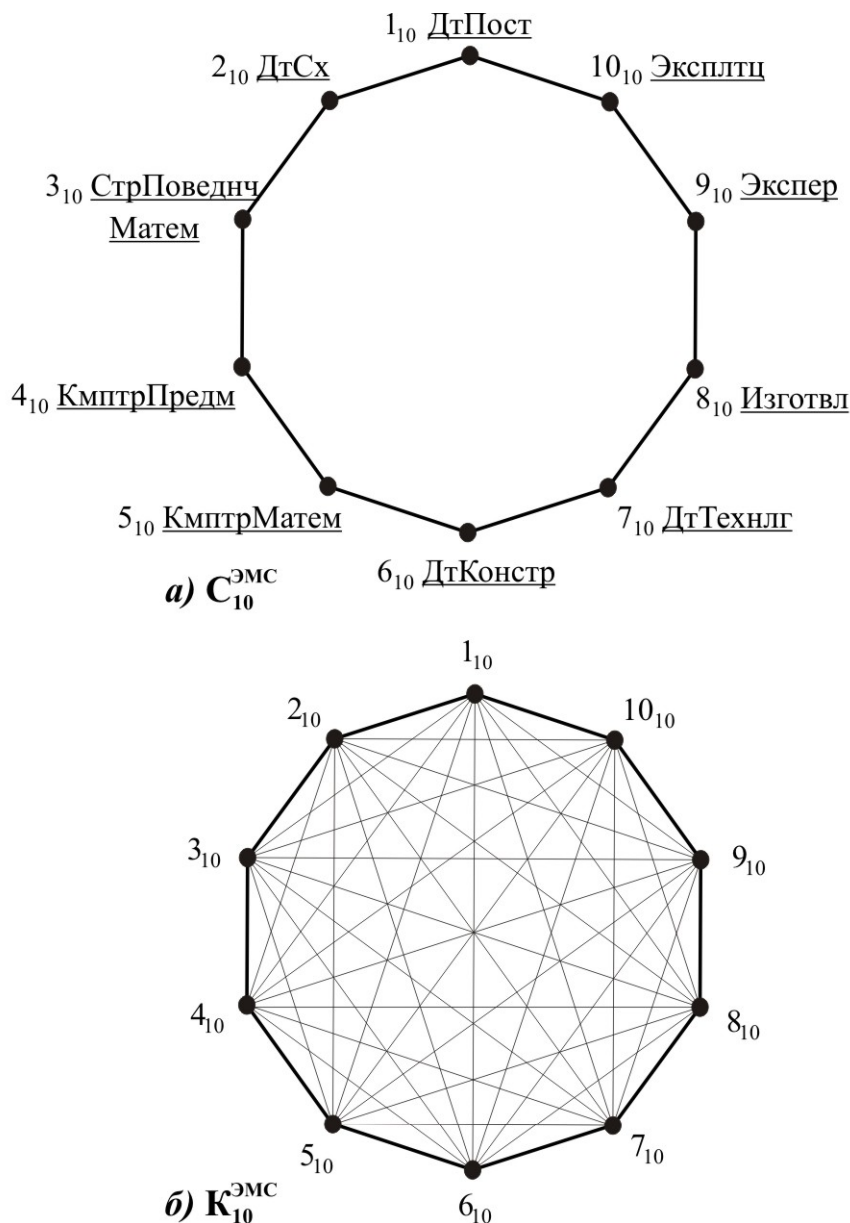


Рис. 1. Графическое изображение всех прямых и обратных связей этапно-модельного синтеза (ЭМС), идентифицируемых рёбрами десятиэтапных графов $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ и $K_{10}^{\text{ЭМС}}$:

а) циклический граф $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ (с 20-ю прямыми и обратными межэтапными связями, в том числе, с двумя замыкающими); б) полный граф $K_{10}^{\text{ЭМС}}$ (со всеми 90 прямыми и обратными межэтапными связями): Вершины графов $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ и $K_{10}^{\text{ЭМС}}$, идентифицирующие этапы модельного синтеза: 1_{10} – документно-постановочный (ДтПост); 2_{10} – документно-схемный (ДтСх); 3_{10} – структурно-поведенческий математический (СтрПоведнчМатем); 4_{10} – компьютерно-предметный (КмптрПредм); 5_{10} – компьютерно-математический (КмптрМатем); 6_{10} – документно-конструкторский (ДтКонстр); 7_{10} – документно-технологический (ДтТехнлг); 8_{10} – изготовительный (Изготвл); 9_{10} – экспериментальный (Экспер); 10_{10} – эксплуатационный (Эксплтиц)

Задание *межэтапных прямых и обратных связей* десятиэтапной простой орцепи следует начинать с построения циклического десятиэтапного графа $C_{10}^{\text{ЭМС}}$, который подчёркивает замкнутый характер этапно-модельного синтеза (рис. 1а). В частности, он показывает, что заключительный десятый эксплуатационный этап может привести к существенному изменению в постановке задачи ЭМС. Кроме того, из анализа графа $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ следует, что введение такой естественной замыкающей обратной связи "Эксплуатационный – Документно-постановочный этапы" подчёркивает необходимость идентификации всех дополнительных обратных связей между различными этапами.

Для задания всех обратных межэтапных связей общей простой орцепи переходят к полному десятиэтапному графу модельного синтеза $K_{10}^{\text{ЭМС}}$ (рис. 1б). Так как граф $C_{10}^{\text{ЭМС}}$ имеет 10 рёбер, а граф $K_{10}^{\text{ЭМС}}$ – 45 рёбер, то возникает ещё 35 дополнительных неучтённых обратных связей.

В структурной теории ОиЛзЭлнС [1] в рамках ЭМС в основе глобальной орграфовой целевой функции (ГЛОГЦФ) лежит десятиэтапное гиперребро. С его помощью определяют двураздельные каскады из двух гиперэтапов (разделов), содержащих от одного до десяти этапов. Для их задания в [3] построены десять трёхдольных гиперграфов, каждый из которых идентифицирует соответствующий каскад, состоящий из двух разделов.

В [1] исследована ГЛОГЦФ в виде септарно-тернарного каскада ЭМС, состоящего из семиэтапного I_7 и трёхэтапного II_3 разделов. В частности, на основе *раздела* I_7 разработана инженерно-графовая методика проектирования оптико-электронного сканирующего устройства кругового обзора пространства (ОЭСУ КОП) [4] с учётом прямых и обратных межэтапных графовых рабочих связей. Инженерно-графовый анализ ЭМС ОЭСУ КОП показал, что особый практический интерес представляет введение межэтапных расчётно-теоретических и инженерно-технических графовых обратных связей с помощью двойной квинтарной ГЛОГЦФ (рис. 2). Она имеет вид орграфового каскада, содержащего два пятиэтапных квинтарных раздела I_5 и II_5 ЭМС. Названия и нумерация этапов на рис. 2 настоящей статьи совпадают с названиями и нумерацией этапов на рис. 1 работы [1].

Расчётно-теоретический (схемно-математический) *раздел* с компьютерной обработкой I_5 содержит первые пять научно-теоретических этапов ($1_{10} - 5_{10}$). Инженерно-технический (конструкторско-технологический) изготовительный *раздел* с последующей апробацией II_5 включает в себя остальные пять технических этапов ($6_{10} - 10_{10}$).

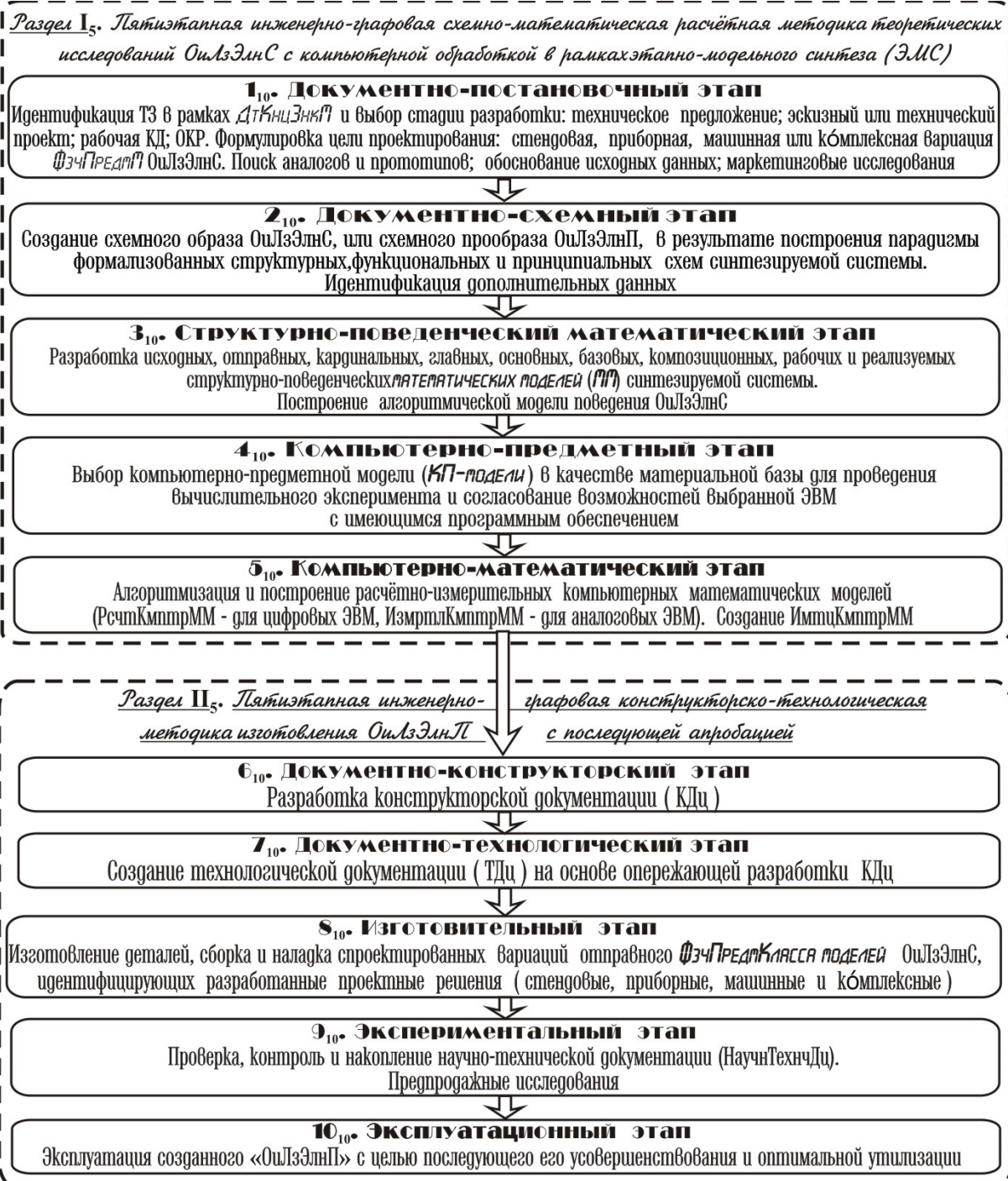


Рис. 2. Децимарная общая простая орцепь $I_5 \cup II_5$ (глобальная оргграфовая целевая функция 5 – 5)

ЭМС ОиЛзЭлнС в виде каскада из двух квинтарных разделов. Каскад суть концептуально-орграфовый математический синтез-прообраз процессов теоретического исследования с компьютерной обработкой I_5 и изготовления «ОиЛзЭлнП» с последующей апробацией II_5

Для наглядного описания связности квинтарных разделов I_5 и II_5 на рис. 3 построен ансамбль из пяти кубических графовых целевых функций. Они созданы на основе кубического графа Петерсена [5] и задают прямые и обратные межэтапные связи между этими разделами ЭМС ОиЛзЭлнС (см. рис. 2). Граф называется *кубическим*, если степень любой его вершины равна трём. Иначе говоря, так же, как для вершины куба, каждой вершине графа инцидентны три входящих и три исходящих ребра. Физико-технический смысл квинтарных под-

графов состоит в визуальной идентификации расчётно-теоретического (пятиугольный *раздел I*₅) и инженерно-технического (звездный *раздел II*₅) этапных разделов.

Накопленный опыт разработки и апробации ОиЛзЭлнП на основе инженерно-графовой методологии ЭМС [3,4] позволяет в явном виде выделить три кубические графовые целевые функции на рис. 3а, 3в и 3д, которые иллюстрируют применение метода графовых обратных связей. В общем случае при создании нового изделия на основе ТЗ только опыт, интуиция и здравый смысл помогают почувствовать, когда и как надо переходить от одного этапа к другому. Для эффективной реализации перехода требуется идентификация всех необходимых обратных связей между различными этапами.

Первая анализируемая кубическая графовая целевая функция, приведённая на рис. 3а, задаёт обратные связи при разработке нового изделия. В результате проработки орцепи из пяти научно-теоретических этапов 1₁₀-2₁₀-3₁₀-4₁₀-5₁₀ (двойной штриховой пунктир) получают расчётные значения параметров, которые обеспечивают характеристики, заданные в ТЗ на ДтПост этапе 1₁₀. Модельная идентификация этапных шагов в орцепи определяется конкретикой проект-образа технического объекта (см. рис. 3 работы [1]).

Эффективность найденных значений параметров можно проверить в рамках орцикла обратных связей 5₁₀-1₁₀-2₁₀-8₁₀-9₁₀-5₁₀ на рис. 3а (штрих-пунктир с двумя точками). Такой подход использован в работе [3] для проверки работоспособности устройства для измерения радиуса кривизны сферического зеркала, разработанного на основе дифракционно-интерференционного метода. Первоначально в результате проработки научно-теоретической пятиэтапной орцепи 1₁₀-2₁₀-3₁₀-4₁₀-5₁₀ находится распределение интенсивности в пространственно-частотном спектре Юнга на выходе устройства. Для контроля работоспособности устройства на основе структурно-функциональной схемы изготавливается упрощённый макетный образец (рис2 [1]). С его помощью проводится предварительный эксперимент на основе межэтапной орцепи 2₁₀ – 8₁₀ – 9₁₀ на рис. 3а. Первоначальное сравнение экспериментальных данных, полученных на этапе 9₁₀, с расчётно-теоретическими данными этапа 5₁₀ показало, что последние оказались в два раза меньше. Для устранения приборной погрешности в рамках поверочного орцикла обратных связей 5₁₀-1₁₀-2₁₀-8₁₀-9₁₀-5₁₀ (штрих-пунктир с двумя точками) в процессе перехода на рис. 3а от этапа 5₁₀ к этапу 2₁₀ осуществлено качественное улучшение структурно-функциональной схемы устройства. На основе изменённой схемы в рамках повторного эксперимента, проводимого по цепи 2₁₀ – 8₁₀ – 9₁₀ получено совпадение новых экспериментальных данных этапа 9₁₀ с расчётно-теоретическими данными этапа 5₁₀ с высокой степенью точности. С целью разработки оптимальной схемы измерительного устройства используется замыкающая орцепь 5₁₀ – 1₁₀ – 2₁₀ орцикла оптимизации (см. рис. 3а).

Так как *расчётные значения параметров* нового изготавливаемого изделия, например объектива, формируются в результате проработки орцепи из пяти научно-теоретических этапов 1_{10} - 2_{10} - 3_{10} - 4_{10} - 5_{10} (двойной штриховой пунктир), то надо проверить эффективность проведённых расчётов. Для этого используют конструкторско-изготовительный орцикл 5_{10} - 1_{10} - 6_{10} - 7_{10} - 8_{10} - 9_{10} - 5_{10} обратных связей с экспериментальным завершением (укороченный штриховой пунктир, рис. 3а). Если полученные опытные значения параметров не удовлетворяют ТЗ, проводится дополнительная проработка.

Вторая анализируемая кубическая графовая целевая функция на рис. 3в определяет орцикл обратных связей 1_{10} - 10_{10} - 9_{10} - 4_{10} - 5_{10} - 1_{10} (штрих-пунктир с двумя точками) при апробации нового прибора. В частности, при исследовании характеристик нового прибора на основе постановки задачи 1_{10} проводятся эксплуатационные испытания 10_{10} с целью экспериментальных измерений 9_{10} . Результаты последующей компьютерной обработки 4_{10} - 5_{10} согласовываются с постановкой задачи. *Третья кубическая графовая целевая функция* (рис. 3д) выделяет орцикл обратных связей, использованный для устранения конструкторских и технологических противоречий при проектировании узлов ОЭСУ КОП [4]. После проведения расчёта по научно-теоретической цепи 1_{10} - 2_{10} - 3_{10} - 4_{10} - 5_{10} (двойной штриховой пунктир) на ДтКонстр этапе 6_{10} при изготовлении чертежа зубчатого колеса возникло *первое техническое противоречие*: расчётный паз для крепления пружины выходит за пределы выступа на колесе. На ДтТехнлг этапе 7_{10} возникло *второе техническое противоречие*, связанное с невозможностью закрепления узла призмы Пехана на установочной плате редуктора. Для устранения этих проблем на рис. 3д строят орцикл обратных связей $6_{10}(7_{10})$ - 3_{10} - 4_{10} - 5_{10} - $6_{10}(7_{10})$, показывающий с помощью штрих-пунктира с двумя точками, как ликвидировать эти противоречия.

Таким образом, идентификация кубических графовых целевых функций ЭМС в рамках расчётно-теоретического этапного *раздела* с компьютерной обработкой и инженерно-технического изготовительного *раздела* с апробацией лежит в основе построения компонентных орциклов этапных обратных связей при разработке и апробации ОиЛзЭлнП. Открываются принципиально новые возможности оптимизации проектирования, изготовления, экспериментальных испытаний и эксплуатации создаваемых приборов. Появляется возможность исследовать ряд проблем, которые раньше неясно было даже как сформулировать. Идентифицирован ряд орциклов обратных связей в рамках ЭМС: при разработке создаваемого изделия; в процессе апробации нового прибора; для устранения конструкторско-технологических противоречий при проектировании. В результате удаётся выделить и объяснить прежде скрытые закономерности синтез-образа. При этом

становится актуальной задача построения разных орциклов с целью введения принципиально нового количественного критерия ЭМС в виде отношения количества рёбер орцикла обратных связей к числу рёбер модельной (например, проектной) орцепи.

Литература

1. Немтинов В.Б. Инженерно-графовая методология этапно-модельного синтеза оптико- и лазерно-электронной системы // Прикладная оптика-2012. В наст. сб.

2. Козинцев В.И., Немтинов В.Б. Графовая факторизация научных основ современного оптического приборостроения // Прикладная оптика-2010: Сб. Трудов. Том 1 (2). Секция 1. Оптическое приборостроение. С-Пб., 2010. С. 115-117.

3. Немтинов В.Б., Авиев А.А. Гиперграфовая идентификация разделов этапно-модельного синтеза. // Лазеры в науке, технике, медицине: Сб. научных трудов XXI Междунар. НТК. Т. 21. М., 2010. С. 160-165.

4. Немтинов В.Б., Жирнов А.А., Степанов К.В. Инженерно-графовая методика проектирования оптико-электронного сканирующего устройства кругового обзора пространства (ОЭСУ КОП) // Электронный журнал «Наука и образование»: электронное научно-техническое издание. – № 0421100025, вып. 10 (2011). 2011// <http://technomag.edu.ru/doc/253373.html>.

5. Уилсон Р. Введение в теорию графов. – М.: Мир, 1977. – 208с.