

УДК 681.2 : 537.5 : 518.5 :51+007 (023)

М. С. А л ь я н о в а, В. Б. Н е м т и н о в

## ГРАФОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТНО-ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИКО- И ЛАЗЕРНО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

*Создана графовая систематика предметно-физических моделей оптико- и лазерно-электронных систем для разработки и исследования оптико- и лазерно-электронных приборов и комплексов. Построен предметно-физический граф, идентифицирующий связность классов, когорт, семейств, триб, родов и видов главных, основных, базовых и типовых предметно-физических подмоделей, задающий соподчинение этих классификационных таксономических единиц и использующийся при разработке методике модельного синтеза оптико- и лазерно-электронных систем.*

В настоящее время разработаны основные положения структурной теории оптико- и лазерно-электронных систем (ОиЛзЭС), опирающейся на структуралистское направление математической теории систем, и исследованы ее основные проблемы [1]. В основе этой теории лежит идея структурной и функционально-преобразующей связности сигналов и элементов, благодаря которой возможно единое описание всех имеющихся моделей. Построена система графовых модельных окон над ОиЛзЭС для разработки и исследования оптико- и лазерно-электронных приборов (ОиЛзЭП) и комплексов. Структурная связность построенных модельных представлений задается с помощью связного графа системы предметных и теоретических моделей [2].

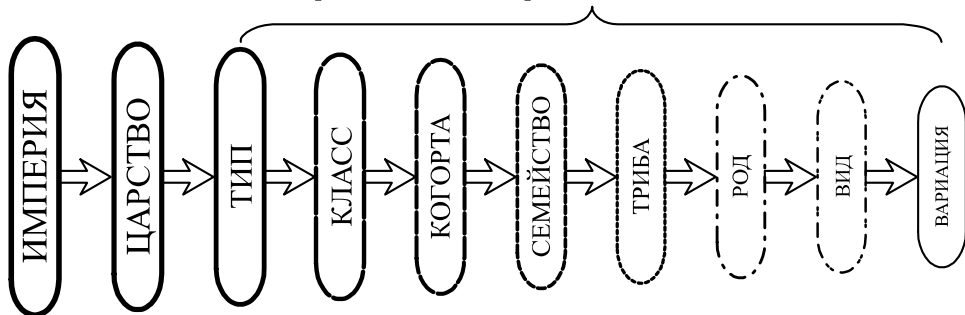
В структурной теории ОиЛзЭС содержится много интересных идей, таких как идея парадигмального схемного каркаса; метод принципиальных схем; графовая сборка моделей; рассмотрение типа сигнала как структурного критерия качества; модельный синтез системы, состоящий из девяти этапов. Под модельным синтезом ОиЛзЭС [3] понимают последовательно-параллельные графовые переходы от одной модели к другой, связанные с решением задач моделирования системы. Эти переходы описываются подграфом в виде совокупности ребер, цепей и циклов как внутри графовых модельных окон и слоев, так и между ними. В результате его построения достигается главная цель модельного синтеза — формирование “графового ячеистого модельного каркаса” строения и функционирования разрабатываемой ОиЛзЭС.

Таким образом, обобщенная инженерно-графовая методика модельного синтеза ОиЛзЭС опирается на графовую модельную оболочку и включает в себя все возможные подметодики расчета системы как графовые модельные слои. Она позволяет представить процесс разработки и исследования ОиЛзЭП в наглядном виде (по аналогии с визуальным объектно-ориентированным программированием в математически ориентированной универсальной интегрированной системе MathCAD), выделить в результате визуального проектирования прежде скрытые закономерности этого процесса и воспользоваться созданной ранее системой графовых модельных окон для похожей уже решенной задачи, используя ее как маршрутную модельную карту, задающую алгоритм проектирования ОиЛзЭП.

В связи с этим особый интерес представляет детальная проработка организованной системы моделей в виде графовых модельных окон и построение классификации модельных представлений ОиЛзЭС. Модельная систематика определяет место каждой модели в системе моделей, служит средством хранения и поиска информации о моделях, идентифицирует свойства моделей и лежит в основе методики модельного синтеза. Целью настоящей работы является построение графовой систематики предметно-физических моделей ОиЛзЭС согласно структурной схеме соподчинения модельных таксонов, используемых в научной классификации [4]. Эти таксоны представляют собой типы, классы, когорты, семейства, трибы, роды, виды главных, основных, базовых и типовых подмоделей (рис. 1).

**Постановка задачи.** Одним из положений структурной теории [1–3] является выделение в зависимости от способа получения модели двух главных направлений моделирования — предметного (материального, или эмпирического) и теоретического (концептуально-

*Таксономические единицы графовой систематики предметных и теоретических моделей ОиЛзЭС*



**Рис. 1.** Структурная схема соподчинения модельных таксонов, используемых в научной систематике

знакового). В ходе предметного моделирования (рис. 2) исследование проводится с помощью предметной модели (ПредмМ 1), которая представляет собой реальный (материальный) объект в виде стенда, прибора, машины, вычислительного устройства. ПредмМ 1 воспроизводит наиболее существенные в рамках решаемой задачи геометрические, физические (оптические), структурные, функциональные статические и динамические характеристики ОиЛзЭС (оригинала). Она по своим заданным свойствам предназначена конкретным образом заменять, т.е. реально воспроизводить, структуру и поведение анализируемой или синтезируемой ОиЛзЭС. Поэтому предметное (материальное) моделирование является также экспериментальным, или эмпирическим. ПредмГраф 1 идентифицирует структурную связность на множестве моделей  $S_1$  первого предметного типа в рамках системы предметных (материальных) графовых модельных окон 1.

Предметное, или материальное, моделирование в зависимости от способа реализации эксперимента имеет два основных направления: предметно-физическое (ПредмФзч), или просто физическое, моделирование и компьютерно-предметное (КмптрПредм), или предметно-математическое (предметно-вычислительное), моделирование на базе вычислительных машин. В рамках первого направления создаются ПредмФзчМ для проведения физического (реального) эксперимента, а в рамках второго разрабатываются КмптрПредмМ для вычислительного (машинного, или компьютерного) эксперимента. Кроме того, выделяют третье композиционное направление предметного моделирования, на основе которого строятся модельные комплексы, или комплексные (Кмпл) КмптрПредм ФзчМ. Таким образом, тип  $S_1$  главных ПредмМ содержит три предметных класса: первый предметный класс —  $S_{11}$  ПредмФзчМ; второй предметный класс —  $S_{31/12}$  КмптрПредмМ, который одновременно является первым компьютерным классом типа  $S_3$  КмптрПредмТеорМ; третий композиционный предметный класс —  $S_{32/13}$  КмплКмптрПредмФзчМ.

Структурная связность ПредмМ идентифицируется ПредмГрафом 1 (см. рис. 2), состоящим из трех подграфов: предметно-физического (ПредмФзчГраф 1.1, или ФзчГраф 1.1), компьютерно-предметного (КмптрПредмГраф 3.1/1.2) и комплексного компьютерного предметно-физического (КмплКмптрПредмФзчГраф 3.2/1.3). ПредмГраф 1 визуализируется в рамках главного окна 1, содержащего три графовых модельных подокна: ПредмФзч 1.1, КмптрПредм 3.1/1.2 и КмплКмптрПредмФзч 3.2/1.3. Далее анализируются только предметно-физические модели.

Связный граф 1 (исходная графовая целевая функция 1) системы М1 предметных моделей, идентифицирующий структурную связность предметных модельных представлений ОиЛзЭС

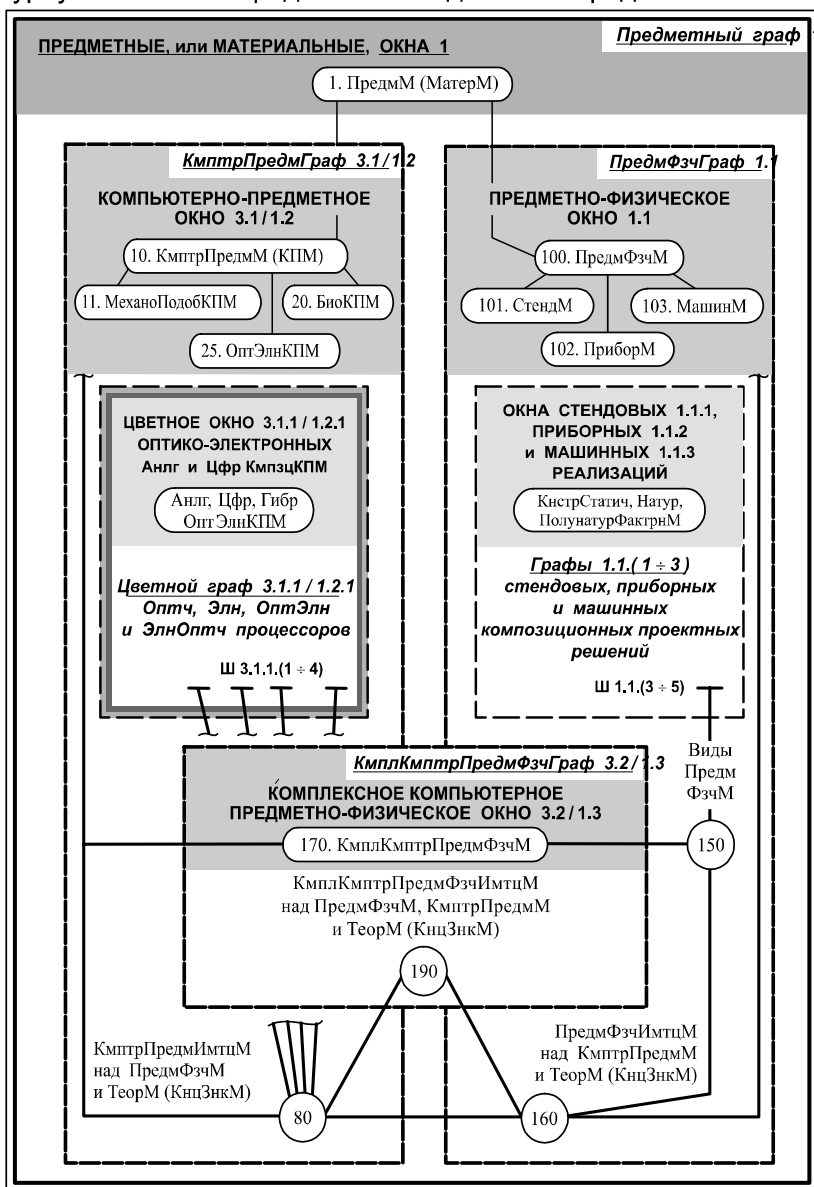


Рис. 2. Система М1 предметных графовых модельных окон (ПодМетаМоделей, или графовых целевых функций) над ОиЛзЭС для разработки и исследования ОиЛзЭП и комплексов: (см. далее)

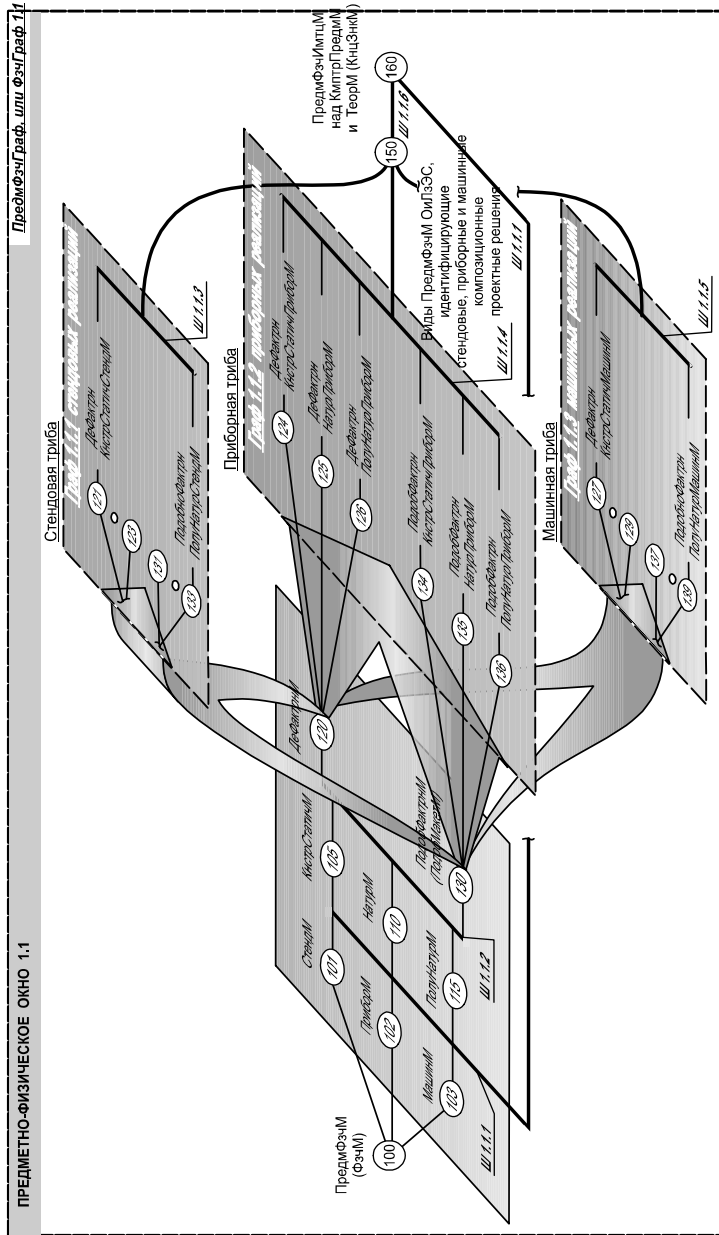
ИмтцМ — имитационная модель; КмплКмптрПредмФзчМ — комплексная компьютерная предметно-физическая модель; КмптрПредмМ (КПМ) — компьютерно-предметная модель; АнлгКПМ — аналоговая модель; БиоКПМ — биологическая модель; ГибрКПМ — гибридная модель; КмпзцКПМ — композиционная модель; МеханоПодобКПМ — механо-подобная модель; ОптчКПМ — оптическая модель; ОптЭлнКПМ — оптико-электронная модель; ЦфрКПМ — цифровая модель; ЭлнКПМ — электронная модель; ЭлнОптчКПМ — электронно-оптическая модель; КнстрСтатичМ — конструкторско-статическая модель; МашинМ — машинная модель; НатурМ — натурная модель; ПолуНатурМ — полунатурная модель; ПредмМ (МатерМ) — предметная (материальная) модель; ПредмФзчМ — предметно-физическая модель; ПриборМ — приборная модель; СтендМ — стендовая модель; ТеорМ (КнцЗнкМ) — теоретическая (концептуально-знаковая) модель; ФактрнМ — факторная модель; модельные классификационные таксоны: тип — ПредмМ (МатерМ); ПредмФзчМ, КмптрПредмМ (КПМ), КмплКмптрПредмФзчМ — три класса ПредмМ; СтендМ, ПриборМ, МашинМ — три подкласса ПредмФзчМ; КнстрСтатичМ, НатурМ, ПолуНатурФактрнМ — три трибы ПредмФзчМ; МеханоПодобКПМ, БиоКПМ, ОптЭлнКПМ — три подкласса Кмптр ПредмМ; АнлгКПМ, ЦфрКПМ, ГибрОптЭлнКПМ — триба оптико-электронных аналоговых и цифровых КмпзцКмптрПредмМ

**Предметно-физические классификационные таксоны.** Класс предметно-физических моделей (ПредмФзчМ 100), или для краткости физических моделей (ФзчМ 100), представляет собой совокупность материально изготовленных объектов, предназначенных как для проведения физического эксперимента, так и для практического использования. ФзчМ имеет ту же физическую природу, что и моделируемый объект, и выражает проектно-конструкторскую направленность модельного синтеза, основанную на выборе подкласса, когорты, семейства, трибы, рода и вида модели и задаваемую “нисходящей” ориентацией ФзчГрафа 1.1 (рис. 3). Последний в рамках ПредмФзчПодОкна 1.1 идентифицирует ГрфМ 1.1 класса физических моделей над ОиЛзЭС, так что

$$\text{ГрфМ 1.1}_{\text{ФзчМ}} = \langle\langle S_{11}, S_{111}, S_{112}, S_{113}; R_{j4}, \dots, R_{i4} \rangle\rangle, \quad (1)$$

где  $S_{11}$  — множество физических моделей;  $S_{111}, S_{112}, S_{113} \subset S_{11}$ .

При физическом моделировании условия реализации изготовленной ФзчМ системы, вообще говоря, значительно отличаются от условий, свойственных процессу, протекающему в системе-оригинале, и выбираются исходя из удобства и простоты исследования. Однако условия физического моделирования выбираются не абсолютно произвольно. Между оригиналом и ФзчМ 100 должны быть сохранены



**Рис. 3. Графовое расслоение предметно-физического (ПредмФзч) графа 1.1, идентифицирующее разработку видов ПредмФзчМ ОилЗЭС:**

ДеФактрМ — де-факторная модель; КнтрСтатчМ — конструкторско-статическая модель; МашинМ — машинная модель; НатурМ — натурная модель; ПодобФактрМ (ПодобМакетМ) — подобно-факторная (подобно-макетная) модель; ПолуНатурМ — полунатурная модель; ПредмФзч — предметно-физическая модель; ПриборМ — приборная модель; СтендМ — стендовая модель; модельные классификационные таксоны: 100 — класс ПредмФзчМ; 101, 102, 103 — подклассы исходных моделей по направлению исследования (анализа и синтеза) ОилЗЭС; 105, 110, 115 — которты основных моделей, идентифицирующих характер проведения физического эксперимента; 120, 130 — маштабно-факторные семейства базовых моделей по цели изготовления с определенной степенью приближения; 121...133, 124...136, 127...139 — трибы, содержащие 18 композиционных родов; 150 — виды ПредмФзчМ ОилЗЭС, идентифицирующие стендовые, приборные и машинные композиционные проектные решения

отношения факторного (масштабного) подобия, которые вытекают из закономерностей физической природы явлений и гарантируют возможность использования информации, получаемой путем физического моделирования, для оценки свойств оригинала.

Внутри класса  $S_{11}$  ПредмФзчМ по направлению исследования (анализа и синтеза) ОиЛзЭС выделяют три подкласса исходных моделей: стендовых  $S_{111}$  (СтендМ 101), приборных  $S_{112}$  (ПриборМ 102) и машинных  $S_{113}$  (МашинМ 103). СтендМ 101 используется для измерения параметров и характеристик прибора и машины или для проведения комплексных исследований и испытаний создаваемого изделия. ПриборМ 102 воспроизводит физические принципы структурной и поведенческой связности оптико- и лазерно-электронных устройств измерения, анализа, обработки, визуального представления информации, а также регулирования и управления. Эта модель в виде завершеного прибора используется на практике в разных условиях. МашинМ 103 идентифицирует устройство, выполняющее механические движения с целью преобразования энергии, материалов или информации.

В зависимости от условий проведения физического эксперимента при разработке ФзчМ 100 вначале рассматривают конструирование как задание статической структурной связности между элементами трех подклассов исходных моделей: стендов, приборов и машин, а также натурное и полунатурное моделирование стационарного и динамического поведения системы. В результате в рамках каждого подкласса выделяются три когорты основных моделей: конструкторско-статических (КнстрСтатичМ 105), натуральных (НатурМ 110) и полунатурных (ПолунатурМ 115). КнстрСтатичМ 105 является исходной фундаментальной “недействующей” физической моделью при подготовке эксперимента и отображает статические свойства создаваемой системы. Наиболее полное воспроизведение стационарных и динамических свойств системы осуществляется в реальных условиях натурального эксперимента с помощью действующей физической модели, или НатурМ 110, которая представляет собой предметно-физическую модель, воспроизводящую реальное поведение системы. Отличие от нее ПолуНатурМ 115 состоит в использовании различных имитаторов входных сигналов или макета системы управления и обусловлено частичной имитацией условий поведения. С точки зрения полноты условий моделирования при заданном принципе действия, ее можно считать “полудействующей” физической моделью в том смысле, что реальные условия работы воспроизводятся только частично (“наполовину”).

По цели изготовления каждая из основных моделей с определенной степенью приближения идентифицируется одним из двух масштабных

факторных семейств базовых моделей: де-факторных, т.е. выполненных в реальном масштабе (ДеФактрнМ 120), и подобно-факторных (ПодобФактрнМ 130), или подобно-макетных. ПодобФактрнМ 130 отображает исходный объект с помощью макета, изготовленного с учетом определенных масштабных коэффициентов (коэффициентов подобия) и предназначенного для предварительных или дополнительных исследований изготавливаемого технического объекта.

Каждая исходная модель из подкласса М101–103 может быть реализована с помощью любой основной модели из когорты М105, 110, 115, а также базовой модели из семейства М120, 130. В результате происходит расслоение ПредмФзчГрафа 1.1 на три модельные трибы  $S'_{111}$ ,  $S'_{112}$  и  $S'_{113}$ , каждая из которых содержит шесть композиционных родов (см. рис. 3). Соответствующий род идентифицирует проектируемые виды типовых инженерных решений. Для упрощения отображения графовых связей между подклассами и когортами, когортами и семействами, родами и видами вводятся графовые шины Ш 1.1.1, Ш 1.1.2, Ш 1.1.3... 1.1.5 соответственно, условно объединяющие графовые ребра связности, и дополнительная шина Ш 1.1.6.

Таким образом, ПредмФзчГраф 1.1 задает систему из трех графовых модельных подокон 1.1.1... 1.1.3, идентифицирующих 18 композиционных родов стендовых, приборных и машинных реализаций и состоит из трех подграфов (см. рис. 3): графа 1.1.1 стендовых реализаций, или ГрфМ 1.1.1 стендовой трибы (СтендТрб):

$$\text{ГрфМ1.1.1}_{\text{СтендТрб}} = \langle \langle S'_{111}; R_{j5}, \dots, R_{l5} \rangle \rangle, \quad (2)$$

графа 1.1.2 приборных реализаций, или ГрфМ 1.1.2 приборной трибы (ПриборТрб):

$$\text{ГрфМ1.1.2}_{\text{ПриборТрб}} = \langle \langle S'_{112}; R_{j5}, \dots, R_{l5} \rangle \rangle, \quad (3)$$

графа 1.1.3 машинных реализаций, или ГрфМ 1.1.3 машинной трибы (МашинТрб):

$$\text{ГрфМ1.1.3}_{\text{МашинТрб}} = \langle \langle S'_{113}; R_{j5}, \dots, R_{l5} \rangle \rangle, \quad (4)$$

где  $S'_{111}$  — триба стендовых,  $S'_{112}$  — приборных,  $S'_{113}$  — машинных реализаций ФзчМ соответственно.

Таким образом, детализирован предметно-физический модельный фундамент структурной теории ОиЛзЭС, графовая конфигурация которого расширяет возможности модельного синтеза в рамках документно-постановочного этапа [3]. Построенная систематика модельных таксонов позволит в дальнейшем перейти к графовой классификации компьютерно-предметных моделей и идентификации комплексных компьютерных предметно-физических моделей.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

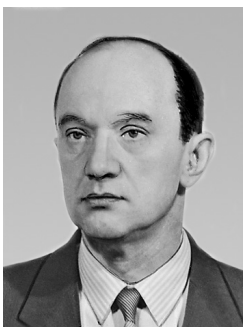
1. Немтинов В. Б. Проблемы структурной теории оптико- и лазерно-электронных систем Ч. 10 // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". Спец. выпуск "Лазерные и оптико-электронные приборы и системы". – 1998. – С. 30–43.
2. Немтинов В. Б. Структурная теория оптико- и лазерно-электронных систем. Ч. 6. Основные, типовые и базовые структурно-поведенческие математические модели // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". – 1996. – № 3. – С. 9–28.
3. Немтинов В. Б. Структурная теория оптико- и лазерно-электронных систем. Ч. 11. Модельный синтез системы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". – 1999. – № 3. – С. 22–40.
4. Розова С. С. Классификационная проблема в современной науке. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.

Статья поступила в редакцию 27.06.2002



Мария Сергеевна Альянова родилась в 1978 г., окончила в 2002 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области моделирования и расчета оптико- и лазерно-электронных систем.

M.S. Alyanova (b. 1978) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2002. Specializes in the field of simulation and calculation of opto- and laser-electronic system.



Владимир Борисович Немтинов родился в 1940 г., окончил в 1964 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана и в 1968 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. техн. наук, доцент кафедры "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 300 научных работ по теории оптико- и лазерно-электронных приборов и систем (прежде всего, по проблемам общего и математического моделирования), а также по лазерной дифракционной оптике и голографии.

V.B. Nemtinov (b. 1940) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1964 and Moscow State University named after M.V. Lomonosov in 1968. Ph.D. (Eng.), ass. professor of "Laser and Optical-and-Electronic Systems" department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 300 publications in the field of the theory of optical-and-laser-and-electronic devices and systems (above all, problems of general and mathematical simulation) and of the laser diffraction optics and holography.