

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### *МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ*

**Кондратенко В.С., Наумов А.С., Рогов А.Ю.**

Внедрение технологии лазерного управляемого термораскалывания  
в России 3

**Сиротинкин В.П., Буш А.А., Каменцев К.Е., Степанов А.В., Сегалла А.Г.**

Структура и свойства керамических сегнетоэлектриков-релаксоров  
системы  $\text{BiScO}_3 - \text{PbTiO}_3$  с добавками  $\text{MnO}_2$  в области морфотропного  
перехода 15

### *РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ. ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ*

**Таржанов И.В.**

Возможности снижения энергозатрат приводов робота на этапе проектирования 23

### *МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ*

**Струченков В.И.**

Компьютерные технологии в проектировании трасс линейных сооружений 29

### *ЭКОНОМИКА НАУКОЕМКИХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ*

**Рябков О.А.**

Особенности технологии финансового планирования в органах местного  
самоуправления 42

### *МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВА*

**Соколова М.Л.**

Современные проблемы направления «Технология художественной  
обработки материалов» 50

**Сухорукова С.М., Погорелый А.М.**

Как обеспечить экологическую и промышленную безопасность  
при освоении космоса? 57

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

---

**Сигов А.С.** Главный редактор журнала, Президент Московского технологического университета, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

**Кудж С.А.** Ректор Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: rector@mirea.ru

**Большаков А.К.** Директор Института инновационных технологий и государственного управления Московского технологического университета, к.э.н., доцент, e-mail: bolshakov@mirea.ru

**Буслаева Т.М.** Профессор, д.х.н., Московский технологический университет (МИТХТ), e-mail: buslaeva@mirea.ru

**Герасин А.Н.** Директор Института управления и стратегического развития организаций Московского технологического университета (МГУПИ), д.э.н., профессор, e-mail: gerasin\_an@mgupi.ru

**Есипова О.В.** Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, Московский технологический университет (МИТХТ), e-mail: esipova@mirea.ru

**Жуков Д.О.** Заведующий кафедрой интеллектуальных технологий и систем Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: zhukov\_do@mirea.ru

**Карнаков В.В.** Директор Института комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета (МГУПИ), к.т.н., e-mail: karnakov\_vv@mgupi.ru

**Кимель А.В.** К.ф.-м.н., Университет г. Наймеген (Нидерланды), e-mail: a.kimel@science.ru.nl

**Кондратенко В.С.** Директор Физико-технологического института Московского технологического университета (МГУПИ), д.т.н., профессор, e-mail: kondratenko\_vs@mgupi.ru

**Кузнецов В.В.** Советник ректората Московского технологического университета, к.т.н., доцент, e-mail: kuznetsov@mirea.ru

**Куликов Г.В.** Директор Института радиотехнических и телекоммуникационных систем Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: kulikov@mirea.ru

**Перно Филипп.** Проректор по научной работе Высшей инженерной школы, профессор, г. Лилль, Франция

**Романов М.П.** Директор Института кибернетики Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: m\_romanov@mirea.ru

**Савиных В.П.** Президент МИИГАиК, член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, e-mail: president@miigaik.ru

**Скотт Джеймс.** Профессор, член Лондонского Королевского общества, Университет г. Кембридж, Великобритания, e-mail: jamescott@acm.org

**Цветков В.Я.** Советник ректората Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: cvj2@mail.ru

### РЕДАКЦИЯ

**Сигов А.С.** Главный редактор журнала, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

**Буслаева Т.М.** Профессор, д.х.н., e-mail: buslaeva@mirea.ru

**Есипова О.В.** Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, e-mail: esipova@mirea.ru

**Семерня Л.Г.** Технический редактор, e-mail: semernya@mirea.ru

**Середина Г.Д.** Зав. редакцией, к.т.н., e-mail: seredina@mirea.ru

**Цветков В.Я.** Профессор, д.т.н., e-mail: cvj2@mail.ru

### Адрес редакции:

Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86, оф. Л-119

Тел.: +7 (495) 246-05-55 (#2-88); e-mail: seredina@mirea.ru

УДК 621.373.8

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ В РОССИИ**

**В.С. Кондратенко<sup>1</sup>**, д.т.н., профессор, директор;

**А.С. Наумов<sup>2</sup>**, к.т.н., помощник вице-президента, отдел лазерной резки;

**А.Ю. Рогов<sup>1</sup>**, заместитель директора

<sup>1</sup>*Физико-технологический институт, Московский технологический университет,  
Москва, 119454 Россия*

<sup>2</sup>*Компания Наноплюс Лтд, Тайвань*

@Автор для переписки, e-mail: vsk1950@mail.ru

Работа посвящена развитию высокоэффективных технологий прецизионного раскроя хрупких неметаллических материалов на основе метода лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ), который получает в последнее время все большее распространение и признание во всем мире. Приведены некоторые примеры решения высокотехнологичных задач с использованием метода ЛУТ на российской промышленной установке МЛП1-1060/355 для прецизионной резки подложек из сапфира и других хрупких неметаллических материалов. В работе проведен анализ преимуществ метода ЛУТ по сравнению с распространенным в настоящее время способом резки - скрайбированием пикосекундным лазером. Наглядно продемонстрированы практические результаты таких работ как: резка сапфировых приборных пластин на кристаллы; разделение сапфировых подложек на элементы, критичные к внешним воздействиям; резка кремниевых приборных пластин с ОСИД структурами; резка узких сапфировых подложек для светодиодных ламп нового поколения; резка трубок круглого сечения и дисков различного диаметра; резка трубок квадратного сечения и квадратных элементов из боросиликатного стекла; разработка технологии создания сеток на поверхности оптических элементов. Приведенные в работе результаты исследований свидетельствуют об успешном использовании российской технологии ЛУТ для решения высокотехнологичных задач резки пластин из хрупких неметаллических материалов, таких как сапфир, стекло и кремний на промышленной установке отечественного производства.

**Ключевые слова:** лазерное управляемое термораскалывание, сапфир, стекло, кремний.

## **INTRODUCTION OF LASER TECHNOLOGY CONTROLLED THERMO-CRACKING IN RUSSIA**

**V.S. Kondratenko<sup>1</sup>**;

**A.S. Naumov<sup>2</sup>**;

**A.Yu. Rogov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Moscow Technological university, Physico-Technological Institute, Moscow, 119454 Russia

<sup>2</sup>Nanoplus Ltd. (Taiwan (R.O.C.)

@Corresponding author e-mail: vsk1950@mail.ru

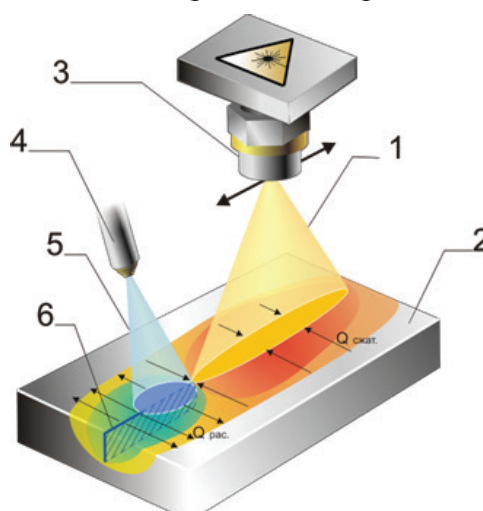
The work is dedicated to the development of highly efficient technologies of precision cutting brittle non-metallic materials on the basis of a method of laser-managed thermosplitting (LCT), which gets recently the increasing distribution and worldwide recognition. Some examples of high-tech solutions to problems using the method of LCT on the Russian industrial plant MLP1-1060 / 355 for precise cutting of sapphire substrates and other brittle non-metallic materials. The paper analyzes the advantages of LCT method in comparison with common now cutting way - scribing laser picosecond. Visually-selling onstrate the practical results of such work as cutting instrument sapphire crystals on the plates; Sec-tion of sapphire substrates on elements critical to external influences; cutting instrument silicon wafers with OLED structures; narrow cutting sapphire substrates for LED lamps of the new generation; cutting circular tubes of different diameters and disc; cutting of tubes of square section and the square of elements of borosilicate glass; Development of technologies for creating grids on the surface of the optical elements. Cited in the results of the studies indicate that the successful use of the Russian LCT technology to solve problems of high-tech cutting plates of brittle non-metallic materials such as sapphire, glass, and silicon on the plant produced domestically.

**Keywords:** laser controlled thermocracking; sapphire, glass, silicon.

Данная работа посвящена анализу практики применения технологии лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ), разработанной и запатентованной в России и за рубежом [1, 2].

На примерах решения высокотехнологичных задач по лазерной резке на установке МЛП1-1060/355, принадлежащей Физико-технологическому институту Московского технологического университета, продемонстрирован потенциал технологии ЛУТ по резке хрупких неметаллических материалов.

Физическая модель метода ЛУТ приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема образования микротрещины в процесс ЛУТ:

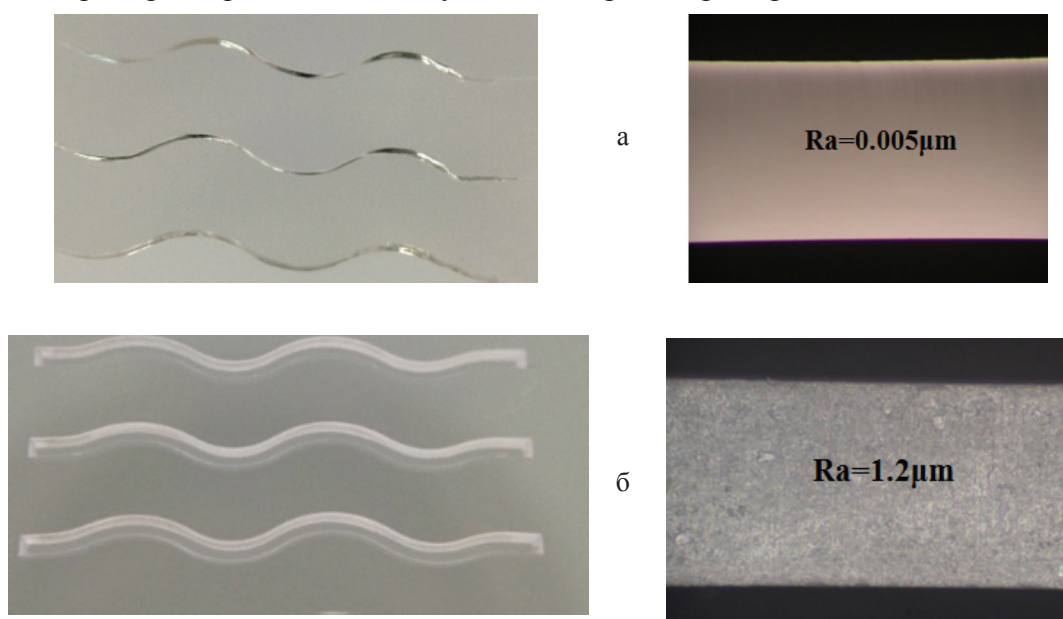
- 1 – лазерный пучок; 2 – обрабатываемая пластина;
- 3 – фокусирующий объектив; 4 – форсунка;
- 5 – хладагент; 6 – микротрещина.

При облучении лазерным пучком 1 поверхности хрупкого материала 2, который является непрозрачным для длины волны лазерного излучения, фокусируемого объективом 3, в зоне нагрева в поверхностных слоях возникают значительные напряжения сжатия, которые, однако, к разрушению материала не приводят. При подаче вслед за лазерным пучком с помощью форсунки 4 хладагента 5 происходит резкое локальное охлаждение поверхности материала по линии реза. Возникающий при этом градиент температур обуславливает возникновение в поверхностных слоях материала напряжений растяжения, обеспечивающих при определенных условиях превышение предела прочности материала и образование микротрещины 6.

Основными преимуществами метода ЛУТ являются:

- безотходность процесса разделения материала;
- высокая чистота процесса, не загрязняющего поверхность материала при резке;
- нулевая ширина реза;
- высокая скорость резки, достигающая до 1 метра в секунду;
- высокая точность раскроя материалов;
- повышение прочности изделий до 5 раз, по сравнению с механической резкой.

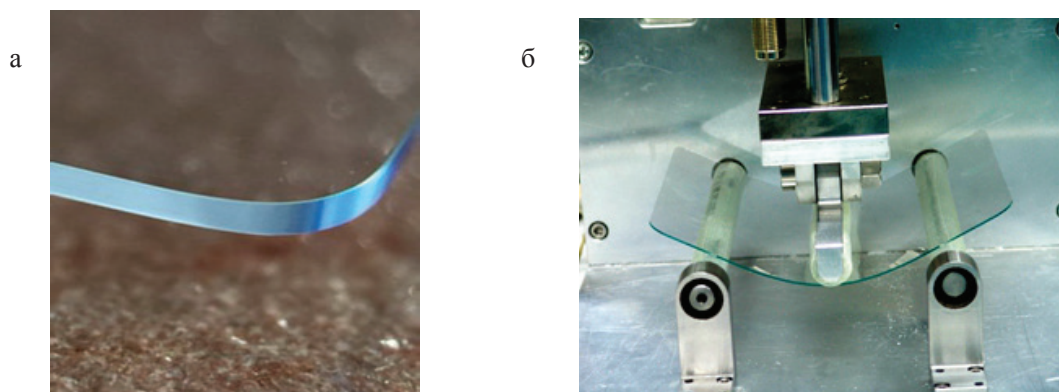
На рис. 2 показаны сравнительные результаты резки одинаковых образцов стекла толщиной 0.4 мм по линиям реза свободной формы методом ЛУТ (рис. 2а) и скрайбированием с помощью пикосекундного лазера (рис. 2б), приведенные компанией-лицензиатом «Foxconn Technology Group» (Тайвань). Метод ЛУТ продемонстрировал пятикратное преимущество по скорости резки (350 мм/с против 70 мм/с скрайбированием) и значительное повышение качества кромки стекла, а именно: уменьшение шероховатости поверхности в 240 раз (с  $Ra = 1.2$  мкм при скрайбировании до  $Ra = 0.005$  мкм при резке методом ЛУТ). Следует также отметить, что ширина реза методом ЛУТ равна нулю, в то время как при скрайбировании пикосекундным лазером ширина реза составляет 120 мкм [3].



**Рис. 2.** Сравнение результатов различной лазерной резки стекла толщиной 4 мм (по данным «Foxconn Technology Group», Тайвань):

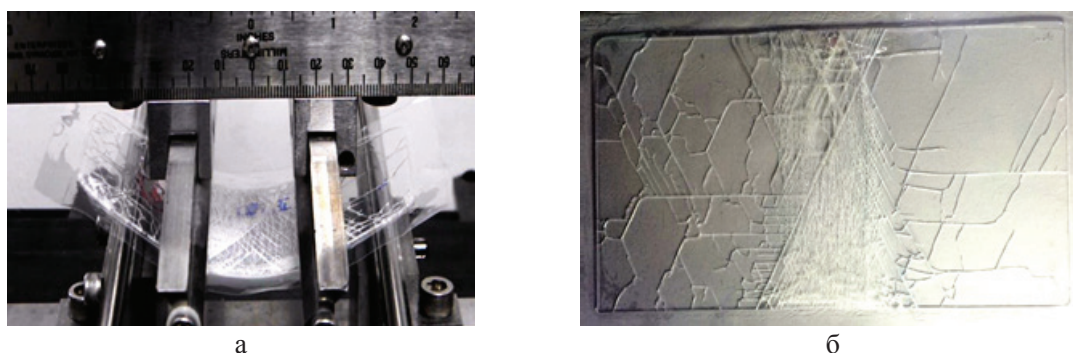
- а) метод ЛУТ: ширина реза 0, шероховатость поверхности кромки  $Ra = 0.005$  мкм;  
 б) скрайбирование: ширина реза 0.15 мм, шероховатость поверхности  $Ra = 1.2$  мкм.

Еще одним преимуществом ЛУТ является увеличение прочностных параметров готовых изделий по сравнению с другими видами резки. Испытания на поперечный изгиб изделий из стекла и сапфира, вырезанных методом ЛУТ, демонстрируют пятикратное увеличение механической прочности кромки по сравнению с механической резкой (рис. 3). Данный эффект обеспечивается отсутствием микродефектов вдоль линии реза, а также дополнительным термическим упрочнением кромки в процессе ЛУТ.



**Рис. 3.** Высокая механическая прочность изделия, вырезанного методом ЛУТ:  
а) вид кромки реза защитного экрана из стекла после ЛУТ;  
б) испытание защитного экрана на поперечный изгиб.

На рис. 4 показаны результаты прочностных испытаний сапфирового экрана толщиной 0.5 мм при испытаниях на поперечный изгиб. Разрушение экрана происходит по кристаллической решетке сапфира, а это свидетельствует о том, что прочность кромки не ниже прочности поверхности материала. Результаты испытаний показали, что разрушение сапфировых экранов, вырезанных методом ЛУТ, наступали при нагрузке в диапазоне 1700–2300 МПа, в то время как резка пикосекундными лазерами или механическая обработка путем шлифования и полирования кромки не давали результатов выше 400 МПа.



**Рис. 4.** Прочностные испытания сапфирового экрана толщиной 0.5 мм после резки ЛУТ:  
а) схема испытаний; б) характер разрушений.

Первая российская промышленная установка МЛП1-1060/355 для прецизионной резки подложек из сапфира и других хрупких неметаллических материалов была изготовлена компанией ООО «Научно-производственный центр «Лазеры и аппаратура ТМ» (г. Зеленоград) на основании лицензионного договора с патентообладателем Кондратенко В.С. (рис. 5).



**Рис. 5.** Фотография российской установки для резки приборных пластин на кристаллы МЛП1-1060/355.

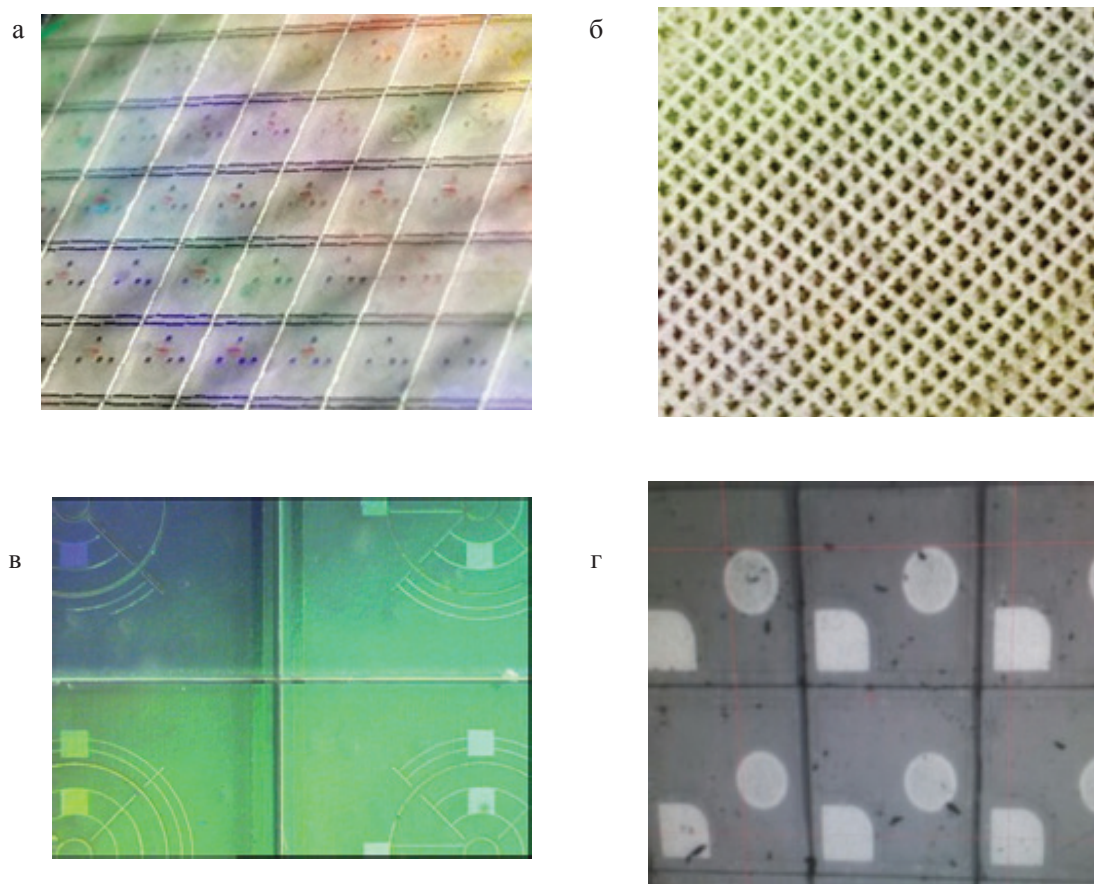
### **Примеры решения высокотехнологичных задач на установке ЛУТ МЛП1-1060/355**

#### **1. Резка сапфировых приборных пластин на кристаллы**

Твердотельные приборы современных электронных устройств – транзисторы, диоды, светодиоды, фотоприемники, лазеры, датчики, фильтры, сенсоры и другие изделия изготавливаются по групповой технологии, которая предусматривает формирование на одной подложке из различных материалов, в частности, сапфира, функциональных структур, которые в дальнейшем разделяются на отдельные кристаллы. После корпусирования разделенных кристаллов получают готовые приборы. Традиционными методами разделения пластин на кристаллы являются механическое и лазерное скрайбирование. Недостатками обоих методов является низкое качество линии разделения и необходимость последующего механического разламывания.

Первые попытки использования метода ЛУТ для резки приборных сапфировых пластин на кристаллы в производстве светоизлучающих диодов показали его перспективность и бесспорные преимущества [4]. Главным преимуществом технологии ЛУТ - в данном применении - является высокая производительность (скорость резки 350–700 мм/с), возможность сквозной резки без операции разламывания и бездефектность кромки, позволяющей достигать яркости светодиодов большей, нежели после обработки другими методами [5].

Примеры резки сапфировых приборных пластин со структурами светоизлучающих диодов (СИД) на кристаллы показан на рис. 6.



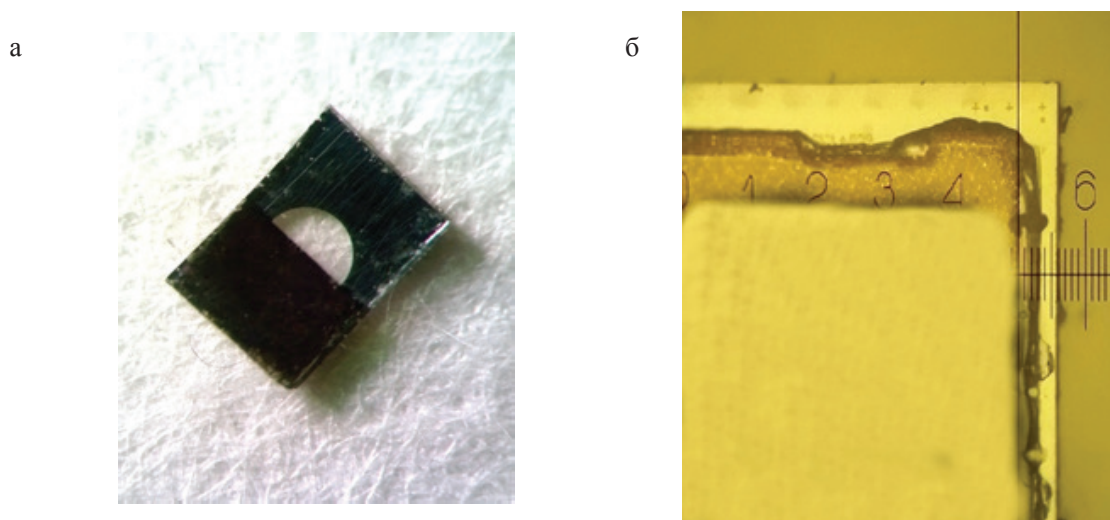
**Рис. 6.** Фрагменты разрезанных с помощью ЛУТ сапфировых приборных пластин со структурами СИД (а, б), увеличенное изображение кристаллов размером 2.63×3.03 мм (в) и 0.36×0.36 мм (г).

## 2. Разделение сапфировых подложек на элементы, критичные к внешним воздействиям

Сформированные на подложке рабочие элементы в отдельных случаях имеют сложную внутреннюю структуру или специальные покрытия, критичные к внешним воздействиям, таким как механическое давление, вибрация, перегрев, загрязнение продуктами резки и др. В таких случаях резка традиционными способами с использованием алмазных дисков или методом лазерного скрайбирования приводит к резкому снижению процента выхода годных изделий и не всегда удовлетворяет специальным техническим требованиям.

Так, при наличии на поверхности разделяемых элементов специального покрытия, например, дополнительная операция механического разламывания после резки алмазным диском у тонкопленочных фильтров приводит к повреждению покрытия, появлению выколов и других дефектов вдоль линии разлома.

На установке МЛП1-1060/355 с помощью технологии ЛУТ при выполнении ряда работ по разделению сапфировых пластин на рабочие элементы со сложной поверхностной структурой (рис. 7) был обеспечен выход годных изделий в объеме 95–99%: оптических фильтров (рис. 7а) и элементов СВЧ-электроники (рис. 7б).



**Рис. 7.** Примеры изделий на сапфировой подложке со сложными поверхностными структурами: а) оптический фильтр; б) бездефектная кромка элемента СВЧ-электроники.

### 3. Резка кремниевых приборных пластин с ОСИД-структурами

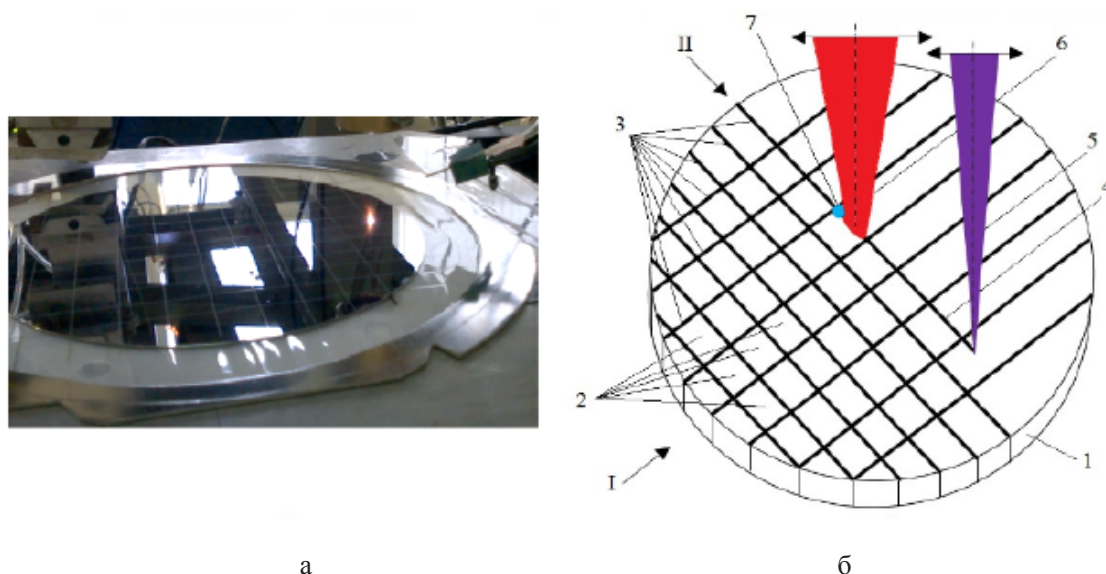
Кремний является самым распространенным полупроводниковым конструкционным материалом, на основе которого могут быть сформированы электронные, механические, тепловые, органические и оптические элементы и структуры, в том числе кристаллы с органическими светоизлучающими диодами (ОСИД, или OLED) для производства OLED-микродисплеев [6].

На сегодняшний день для резки кремниевых пластин на кристаллы с OLED применяются методы скрайбирования алмазным инструментом, скрайбирование лазером, лазерное внутриобъемное скрайбирование "*stealth dicing*", надрезание и сквозная резка диском с алмазной режущей кромкой. Однако все эти способы сопровождаются механическими или тепловыми воздействиями на разделяемые кристаллы и могут вызвать повреждения тонких пленок, органических структур и чувствительной электроники на кристалле [7].

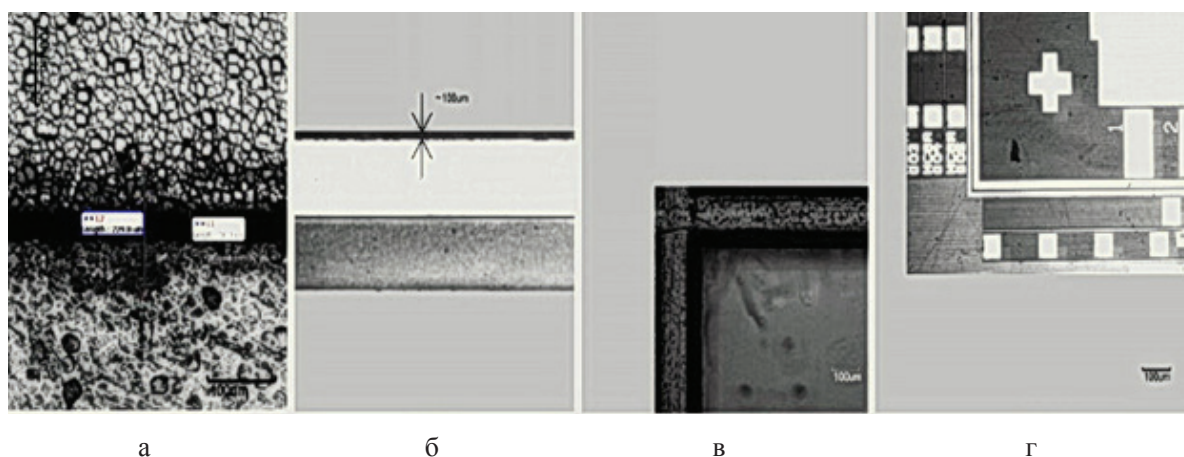
Проведенные исследования и полученные результаты показали высокую эффективность применения метода ЛУТ по предварительно нанесенным импульсным УФ-лазером надрезам для разделения кремниевых пластин Ø 200 мм и толщиной 725 мкм со структурами микродисплеев на основе ОСИД (рис. 8).

Резка кремниевой пластины 1 с кристаллами 2 осуществляется следующим образом. При резке пластины в первом (I) и втором (II) направлениях для получения сквозных разделяющих трещин 3 с ее обратной стороны предварительно наносятся надрезы 4 по всей длине резов с помощью сфокусированного пучка импульсного лазера 5. При последующем нагреве линии надреза 4 лазерным пучком 6 и последующем охлаждении зоны нагрева с помощью хладагента 7 происходит образование сквозной разделяющей трещины 3.

Благодаря надрезам глубиной 100 мкм и последующему сквозному ЛУТ, резы формировались ровными, без отклонений, и торцы рабочей поверхности кристаллов получились качественными по двум направлениям (рис. 9).



**Рис. 8.** Процесс нанесения надреза с помощью импульсного лазера (а) и схема ЛУТ пластины на кристаллы по надрезам (б).

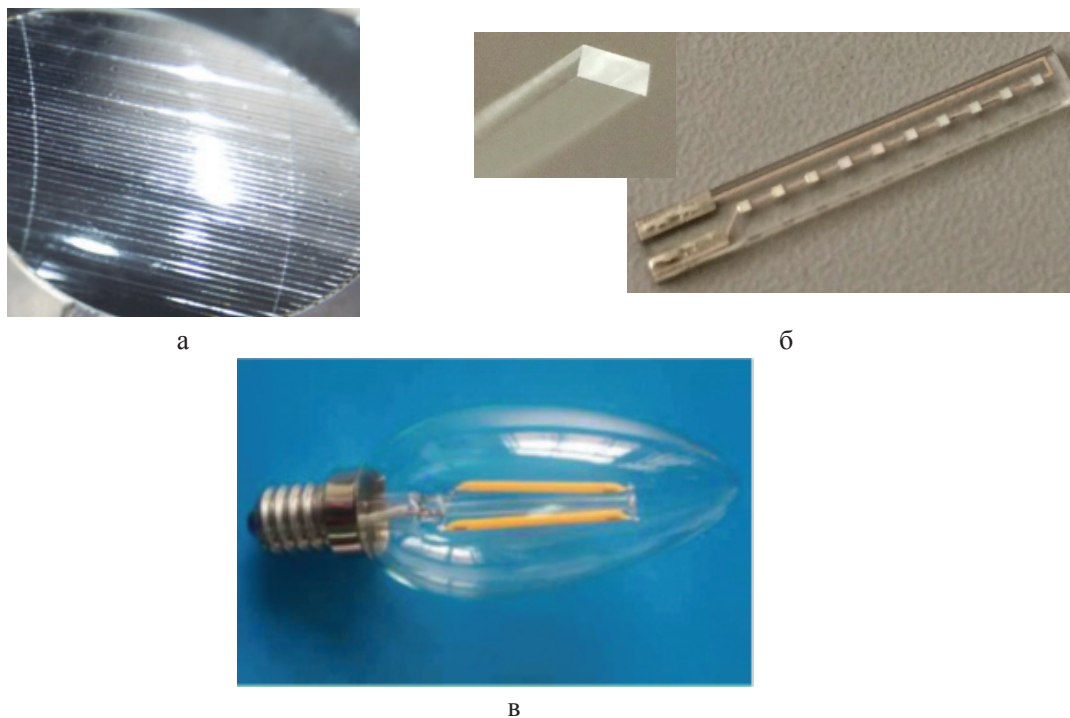


**Рис. 9.** Видимая ширина зоны термического влияния и ширина надреза, увеличение 40× (а); глубина надреза 100 мкм в профиль, увеличение 5× (б); качество резов после ЛУТ по двум направлениям с рабочей стороны, увеличение 20× (в, г).

#### 4. Резка узких сапфировых подложек для светодиодных ламп нового поколения

Технология ЛУТ обеспечила возможность получения узких сапфировых пластин шириной, близкой к толщине материала, с бездефектной гладкой кромкой с шероховатостью  $Ra \approx 0.005$  мкм, соответствующей полированной поверхности. Разработана технология резки сапфировых пластин диаметром 50.8 мм и толщиной 0.6 мм на элементы с размерами  $30 \times 1.0 \times 0.6$  мм на установке МЛП1-1060/355 (рис. 10а), которая позволила резко повысить выход годных элементов для нового класса высокоэффективных светодиодных ламп (рис. 10в). В таких лампах каждый рабочий элемент (рис. 10б) представляет собой

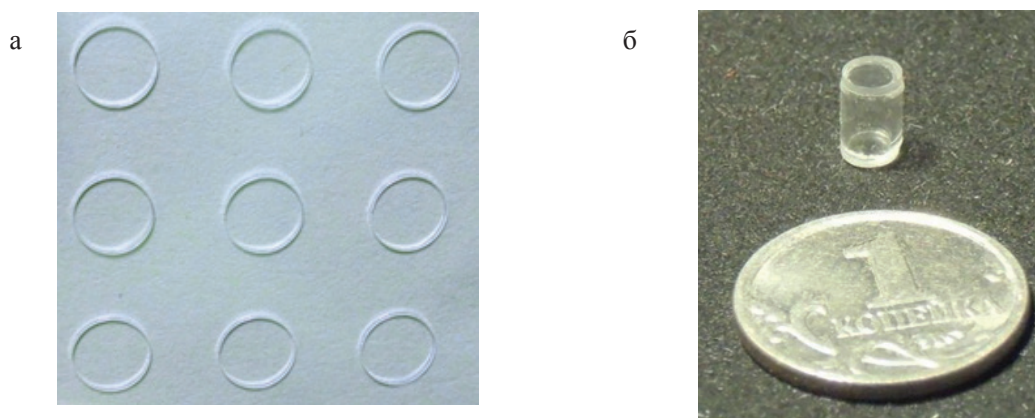
узкую полоску сапфира, на одной стороне которой размещены 5-10 кристаллов светодиодов, а на противоположной – люминофор. В результате получается протяженный светоизлучающий элемент с интегральной светимостью. Получение таких рабочих элементов с помощью традиционных способов резки приводит к недопустимому проценту брака.



**Рис. 10.** Сапфировая пластина, разделенная на элементы  $30 \times 1.0 \times 0.6$  мм (а), вид торца сапфирового элемента и элемент с СИД (б), новая светодиодная лампа (в).

### 5. Резка трубок круглого сечения и дисков различного диаметра

Исследования и эксперименты показали, что методом ЛУТ можно разделять хрупкие материалы не только в виде пластин различной толщины, но и в виде трубок с различным по форме сечением. Показательной является разработанная технология вырезания оптических дисков-окон (рис. 11а) и стеклянных цилиндров (рис. 11б) методом лазерного управляемого термораскалывания с последующей лазерной сваркой оптических дисков и цилиндра [9].



**Рис. 11.** Диски диаметром 4 мм, вырезанные в стеклянной пластине марки Пирекс, толщиной 0.5 мм (а), кювета для миниатюрных атомных часов (б).

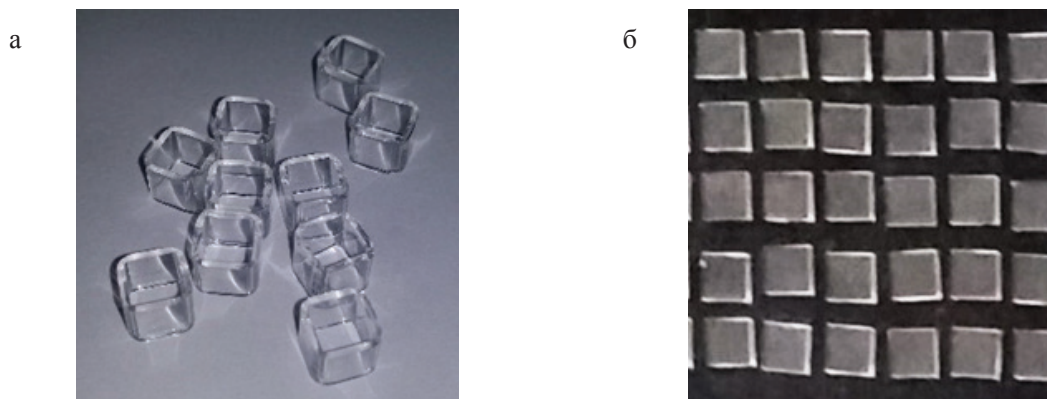
Преимущества технологии:

- исключаются трудоемкие операции шлифования и полирования стеклянных деталей;
- за счет бездефектности кромки диска и его повышенной механической прочности не происходит разрушения диска в процессе сварки;
- благодаря небольшому размеру нагреваемой зоны, лазерная сварка не искажает крышку в зоне светового диаметра;
- возможна приварка второго окна в вакуумной камере после напуска в кювету рабочего газа.

В результате стало возможным создание новой конструкции миниатюрной вакуум-плотной стеклянной кюветы для атомных часов, востребованных, например, системой ГЛОНАСС.

## **6. Резка трубок квадратного сечения и прямоугольных элементов из боросиликатного стекла**

В некоторых применениях требуется использование стеклянных кювет в виде ячейки кубической формы, например, для создания гироскопов на ядерном магнитном резонансе. Для обеспечения высокой степени симметрии заказчиком было предложено вырезать заготовки для ячейки кубической формы: отрезки квадратных трубок (рис. 12а) и квадратные крышки (рис. 12б) из боросиликатного стекла марки Borofloat 33.



**Рис. 12.** Заготовки для ячейки кубической формы из стекла Borofloat 33:

а) отрезки с квадратным сечением 6.5×6.5 мм и длиной 5.2 мм;

б) квадратные крышки 6.5×6.5 мм.

Технология резки квадратных трубок стекла оказалась более сложной, чем резка круглых трубок. Потребовалась дополнительная оснастка, обеспечивающая контролируемый поворот граней трубки вокруг своей оси и шаговое ее перемещение в продольном направлении.

За счет бездефектной кромки обеспечивается высокая параллельность линий разделения заготовок из квадратных трубок (рис. 13), что позволяет проводить лазерную приварку квадратных крышек с высоким качеством и повысить выход годных изделий.

## **7. Технология создания сеток на поверхности оптических элементов**

В большинстве оптических приборов, предназначенных для наблюдения и прицеливания, имеются детали с нанесенными системами линий, цифр, индексов, фигур, обеспе-



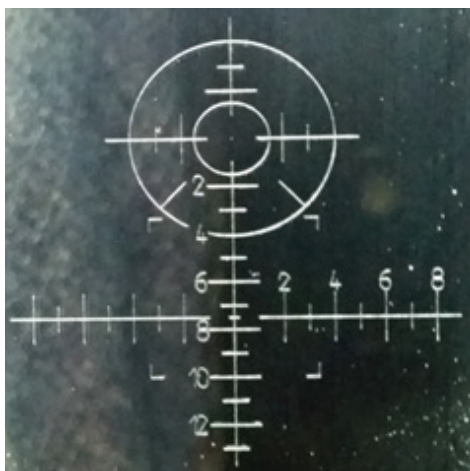
**Рис. 13.** Отрезок квадратной трубки из стекла Borofloat 33 после резки ЛУТ.

чивающих измерения и наведение на объект. Такие детали – в зависимости от взаимного расположения нанесенных элементов – называют шкалой или сеткой. Сетки служат, главным образом, для наведения прибора на объект.

Традиционные способы изготовления сеток: механический, травления и фотолитографический, как наиболее точный, обладают существенными недостатками, главными из которых являются сложность и длительность технологических процессов, их насыщенность вредными отходами, которые негативно влияют на здоровье персонала и окружающую среду.

В результате исследований различных способов нанесения сеток на поверхность оптических элементов на установке ЛУТ МЛП1-1060/355, в состав которой входят два лазера – УФ-лазер и  $\text{CO}_2$ -лазер, экспериментально установлено, что наиболее универсальным способом создания сеток сложной конфигурации является способ лазерного скрайбирования с помощью УФ-лазера с длиной волны 335 нм. Эксперименты показали, что в зависимости от режимов скрайбирования возможно управление шириной канавки в диапазоне 4–40 мкм и глубиной в диапазоне 12–80 мкм.

В целях повышения производительности и обеспечения повторяемости результатов разработано специальное программное обеспечение для управления излучением УФ-лазера, позволяющее автоматизировать процесс и уменьшить более, чем на порядок, время нанесения сеток по сравнению с традиционным фотолитографическим способом. К примеру, время нанесения сетки сложной конфигурации составляет менее 3 мин (рис. 14), процесс нанесения безотходный и экологически чистый [10].



**Рис. 14.** Прицельная сетка с криволинейным контуром.

Приведенные в работе результаты исследований свидетельствуют об успешном использовании российской технологии ЛУТ для решения высокотехнологичных задач резки пластин из хрупких неметаллических материалов, таких, как сапфир, стекло и кремний, на промышленной установке МЛП1-1060/355, разработанной и изготовленной в России. Высокопроизводительная технология создания сеток на поверхности оптических элементов демонстрирует расширенный функционал оборудования, позволяющий решать не традиционные для лазерного разделения материалов задачи.

### Литература:

1. Кондратенко В.С. Способ резки хрупких материалов : патент РФ № 2024441, МКИ5 С03 В 33/02. 1991.
2. Kondratenko V.S. Splitting of non-metallic materials : patent № WO9320015. 1993-10-14.
3. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Развитие и внедрение технологий лазерного управляемого термораскалывания на международном рынке // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. Т. 2. № 3 (8). С. 1–11.
4. Kondratenko V., Gindin P., Tchernykh S. Laser controlled thermocracking die separation technique for sapphire substrate based devices // Phys. Stat. Sol. (c) 0. 2003. № 7. P. 2232–2235.
5. Кондратенко В.С., Зобов А.К., Наумов А.С., Лу Хунг-Ту. Технология прецизионной лазерной резки сапфировых пластин // Фотоника. 2015. № 2 (50). С. 42–52.
6. Грачев О.А., Иванов В.И., Кондрацкий Б.А., Усов Н.Н. и др. Исследование и разработка технологии создания активно-матричных микродисплеев на основе органических светодиодов (ОСИД) // Нанотехника. 2014. № 2 (38). С. 43–45.
7. Иванов В.И. Методы резки кремниевых приборных пластин на чипы в производстве органических микродисплеев // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 4 (23). [Электронный ресурс] Науковедение, 2014 – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN414.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
8. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И., Зобов А.К. Повышение эффективности процесса лазерной резки кремниевых приборных пластин на кристаллы ОСИД // Приборы. 2015. № 9 (183). С. 49.
9. Кондратенко В.С., Наумов С.А., Сорокин А.В., Величанский В.Л., Севостьянов Д. Технология создания кюветы для сверхминиатюрных атомных часов / Приборы. 2012. № 12. С. 27–30.
10. Кондратенко В.С., Исай И.А. Лазерная технология изготовления сеток и шкал для оптических приборов // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 3 (8), т. 2. МИРЭА. С. 22–28.

УДК 548.02

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ  
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ-РЕЛАКСОРОВ  
СИСТЕМЫ  $\text{BiScO}_3 - \text{PbTiO}_3$  С ДОБАВКАМИ  $\text{MnO}_2$   
В ОБЛАСТИ МОРФОТРОПНОГО ПЕРЕХОДА**

**В.П. Сиротинкин<sup>1</sup>**, старший научный сотрудник, к. х. н.

**А.А. Буш<sup>1,@</sup>**, директор Института материалов твердотельной электроники, д. т. н.

**К.Е. Каменцев<sup>1</sup>**, начальник отдела, к. т. н.

**А.В. Степанов<sup>1</sup>**, аспирант

**А.Г. Сегалла<sup>2</sup>**, заместитель директора НПК-З, к. т. н.

<sup>1</sup>Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия

<sup>2</sup>ОАО «НИИ «ЭЛПА», Москва, Зеленоград, 124460 Россия

@Автор для переписки, e-mail: aabush@yandex.ru

Для керамических образцов системы  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3 \cdot y\text{MnO}_2$ ,  $x = 0.63$  и  $y = 0.0017$  и  $0.0118$ , проведен рентгеноструктурный анализ методом Ритвельда, который показал, что они состоят из двух близких по структуре фаз: тетрагональной (пр. гр.  $P4mm$ ) и моноклинной (пр. гр.  $Cm$ ). Для образцов с  $y = 0 - 0.0177$  изучены температурные зависимости  $\epsilon(T)$  и  $\text{tg}\delta(T)$  на частотах  $0.1 - 200$  кГц. При  $y \leq 0.002$  образцы являются сегнетоэлектриками с точкой Кюри  $T_c$ , лежащей в области  $685 - 690$  К. С увеличением содержания  $\text{MnO}_2$  образцы приобретают свойства, характерные для сегнетоэлектриков-релаксоров. В частности, положение максимума на температурной зависимости их диэлектрической проницаемости смещается с частотой измерительного поля в сторону высоких температур.

**Ключевые слова:** керамика, сегнетоэлектрики, релаксоры, кристаллическая структура, диэлектрическая проницаемость.

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF CERAMIC RELAXOR  
FERROELECTICS OF THE SYSTEM  $\text{BiScO}_3 - \text{PbTiO}_3$   
WITH  $\text{MnO}_2$  ADDITIVES IN THE FIELD  
OF THE MORPHOTROPIC TRANSITION**

**V.P. Sirostinkin<sup>1</sup>**,

**A.A. Bush<sup>1,@</sup>**

**K.E. Kamentsev<sup>1</sup>**,

**A.V. Stepanov<sup>1</sup>**,

**A.G. Segalla<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia

<sup>2</sup>OJSC "Scientific Research Institute "ELPA", Moscow, Zelenograd, 124460, Russia

@Corresponding author e-mail: myx.05@mail.ru

X-ray diffraction analysis by Rietveld method was carried out for ceramic samples of the system  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3 \cdot y\text{MnO}_2$ ,  $x=0.63$ , and  $y=0.0017$  and  $0.0118$ . It was shown that they consist of two phases: tetragonal phase (space group  $P4mm$ ) and monoclinic phase (space group  $Cm$ ). The temperature dependencies  $\varepsilon(T)$  and  $\text{tg}\delta(T)$  were obtained for samples  $y = 0 - 0.0177$  at the frequencies  $0.1 - 200$  kHz. The samples are ferroelectric with  $T_c$  685-690 K when  $y \leq 0.002$ . With increasing content of  $\text{MnO}_2$  samples acquire the properties characteristic of ferroelectrics-relaxors. The position of the maximum of dielectric permittivity shifts depending on frequency of measuring field.

**Keywords:** nanostructures, gallium nitride, capacitance-voltage characteristics, piezoelectric effect.

Интерес исследователей к твердым растворам  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3$  (BS·PT) со структурой перовскита вызван наличием у них перспективных для применений пьезоэлектрических свойств. Пьезокерамика этой системы для составов, лежащих вблизи морфотропной фазовой границы (МФГ) ( $x \approx 0.64$ ) между тетрагональной и ромбоэдрической формами твердых растворов, по величине пьезомодуля  $d_{33}$  ( $\sim 500$  пКл/Н) сопоставима с широко применяемой пьезокерамикой  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  (ЦТС), при этом она имеет более высокую точку Кюри ( $T_c \sim 450^\circ\text{C}$ ) [1–5]. Для оптимизации пьезоэлектрических, диэлектрических и других свойств такой керамики и получения новых модифицированных пьезоматериалов на ее основе осуществляется синтез и исследование керамики  $(1-x)\text{BS} \cdot x\text{PT} \cdot y\text{MO}_x$  с добавками различных атомов М [3, 5].

В этой связи нами проведены работы по получению, изучению структурных и диэлектрических характеристик керамики BS-PT с добавками  $\text{MnO}_2$ . Выбор в качестве добавки диоксида марганца обусловлен недостаточной изученностью его влияния на характеристики керамики системы  $\text{BiScO}_3 - \text{PbTiO}_3$ . Следует также отметить, что подавляющее большинство структурных исследований образцов системы BS-PT ограничивается их рентгенофазовым анализом без детального определения кристаллической структуры присутствующих фаз.

Ранее при исследовании подобной системы  $(\text{PbSc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3)_{1-x} - (\text{PbTiO}_3)_x$  было установлено, что для  $x \sim 0.43$  (область морфотропного перехода) характерна моноклинная симметрия и пространственная группа  $Cm$  [6]. В [4] для состава твердого раствора  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3$ , где  $x = 0.63$  (область морфотропного перехода), сообщается, что он состоит из двух фаз: тетрагональной с пространственной группой  $P4mm$  и моноклинной с пространственной группой  $Cm$ . Исследование выполнено методом Ритвельда по рентгенодифракционным и нейтронодифракционным данным, однако не приведены сведения по координатам атомов и их тепловым факторам.

Целью настоящего исследования являлось установление диэлектрических свойств и уточнение структуры керамических образцов состава  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3 \cdot y\text{MnO}_2$ ,  $x = 0.63$ , с добавлением  $\text{MnO}_2$  в количестве  $y = 0 - 0.0177$  (или  $0 - 0.51\%$  масс.). Введение  $\text{MnO}_2$  способствует лучшей спекаемости керамики и может оказывать влияние на ее структуру и свойства.

### Экспериментальная часть

Синтез образцов проводили по обычной керамической технологии с использованием соответствующих оксидов металлов в качестве исходных реагентов. При помоле

использовали аттритор с мелющими телами из стабилизированного иттрием диоксида циркония. Помол-смешивание шихт и помол синтезированных порошков осуществляли в течение 45 мин. Синтез вели при 780°C в течение 6 ч. Прессование заготовок размерами  $\varnothing 14 \times 10$  мм осуществляли одноосным давлением 700 кг/см<sup>2</sup>. Обжиг заготовок проводили в камерной печи в 30%-ной свинецсодержащей засыпке при температурах 1150 и 1200°C с выдержкой 2 ч. Обожженные заготовки шлифовали по диаметру, распиливали на диски толщиной 0.6 мм. Двусторонним доводочным шлифованием получали диски толщиной 0.5 мм, после чего их отмывали в дистиллированной воде в ультразвуковой ванне и высушивали при 400°C. Поверхность дисков для последующих диэлектрических измерений металлизировали с использованием серебросодержащей пасты. Полученные образцы представляли собой керамические диски диаметром 9 мм и толщиной 0.5 мм. Поляризацию полученных образцов проводили в полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-5 при температуре 100–120°C с выдержкой под полем 15–30 мин и охлаждением до 50–60°C под полем. Напряженность электрического поля составляла 4–6 кВ/мм. Режим поляризации подбирали таким образом, чтобы получить максимальные величины  $d_{33}$  и других пьезоэлектрических параметров.

С использованием LCR-метра МТ-4090 фирмы Motech на частотах 0.1, 1, 10, 100 и 200 кГц при амплитуде измерительного напряжения 1 В определяли температурно-частотные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\tan \delta$  образцов синтезированной керамики в области температур 290–800 К.

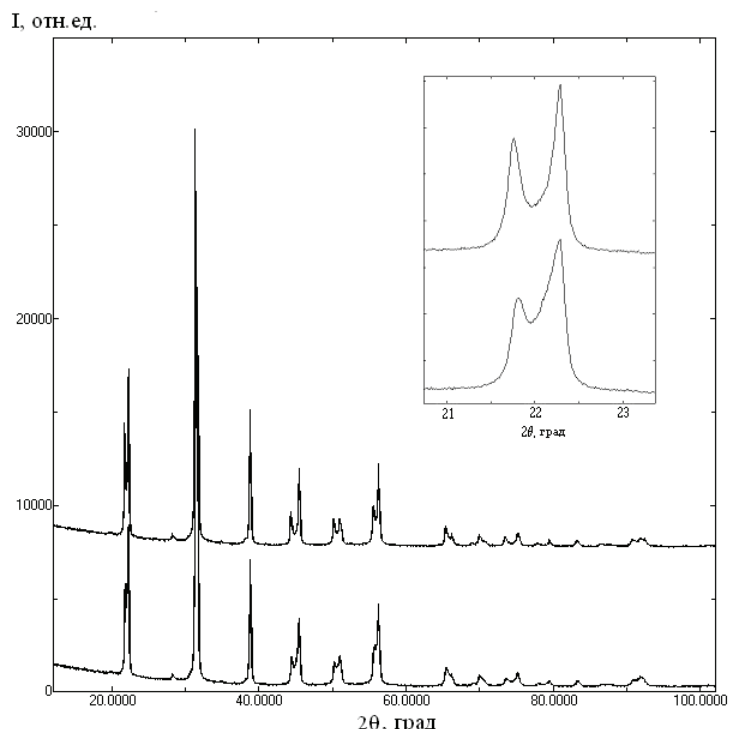
Для проведения рентгеноструктурного анализа использовали дифрактометр Ultima IV фирмы Rigaku (Япония). Экспериментальные данные для двух исследованных образцов ( $y = 0.0017$  и  $0.0118$ ) получали в одинаковых условиях: рентгенооптическая схема по Брэггу–Брентано, диапазон углов по шкале  $2\theta$  от 12° до 102°, непрерывный режим съемки, скорость сканирования 2 град/мин, шаг 0.01°,  $\text{CuK}_\alpha$ -излучение, никелевый фильтр, полупроводниковый детектор D/teX, напряжение на трубке 40 кВ, ток 30 мА.

### Результаты и их обсуждение

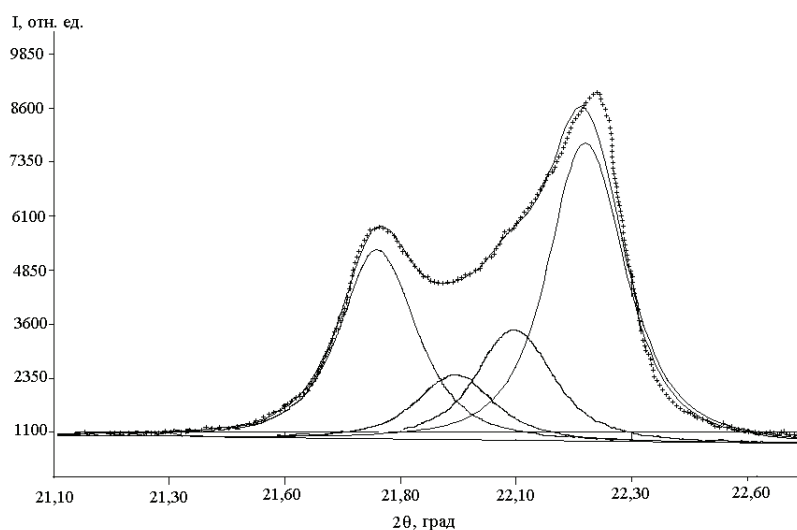
**Рентгеноструктурные исследования.** Зарегистрированные рентгенодифракционные спектры образцов 1 ( $y = 0.0017$  или 0.05% масс.) и 2 ( $y = 0.0118$  или 0.34% масс.) представлены на рис. 1. Как видно из рис. 1, при общей схожести спектров они имеют различия в деталях, точнее, в профилях и относительных интенсивностях дифракционных пиков. Из рис. 1 также следует, что образцы 1 и 2 не являются однофазными, основной фазой является фаза с тетрагональной симметрией. Предположив, что в образцах содержатся только две перовскитоподобные фазы с различными вариантами искажения исходной кубической ячейки, удалось смоделировать дифракционные пики образцов 1 и 2 (до максимальных значений положения пиков по шкале  $2\theta$  около 67 градусов) с использованием программного пакета WinFit [7]. Одной из фаз (основной) везде была фаза с тетрагональной симметрией. Для других фаз были опробованы модели с кубической, ромбоэдрической или моноклинной симметрией. Для модели с моноклинной симметрией рассмотрены случаи с примитивной и базоцентрированной решетками. Наилучшее соответствие между экспериментальными данными и модельными спектрами было достигнуто для варианта со второй фазой с базоцентрированной моноклинной решеткой.

В качестве примера на рис. 2 представлены экспериментальные данные и модельные спектры для области вблизи 22 градусов по шкале  $2\theta$ .

Уточнение структур фаз, присутствующих в синтезированных керамических образцах 1 и 2, проведено методом Ритвельда по программе FullProf [8]. Уточняемыми переменными являлись: шкальные факторы; нулевая точка; профильные параметры пиков, для формы которых выбрана функция псевдо-Фойгта; коэффициенты полинома шестой степени, которым описывалась линия фона; параметры элементарных ячеек; координаты атомов в элементарных ячейках; величины тепловых факторов атомов свинца и висмута в изотропном приближении, в предположении их равенства. Для атомов титана, скандия и кислорода величины тепловых факторов были зафиксированы. Поскольку концентрации добавляемого  $\text{MnO}_2$  очень малы, атомы марганца в структуры рассматриваемых фаз не вводили. При рассмотрении моделей, содержащих вторую фазу с кубической, ромбоэдрической и моноклинной примитивной решетками, не удавалось достичь значений фактора расходимости менее 8-9%. Выбор модели со второй фазой с базоцентрированной моноклинной решеткой привел к хорошему совпадению с экспериментальными данными (таблица, рис. 3). Структурные параметры образцов 1 и 2 хорошо согласуются с данными [4] (см. таблицу). Между собой образцы 1 и 2 имеют, хотя и небольшие, но отличия в значениях параметров элементарных ячеек соответствующих фаз. Имеются также небольшие отличия в количественном содержании фаз с тетрагональной и моноклинной симметрией, а также в значениях координат атомов. По-видимому, добавление  $\text{MnO}_2$  вызывает изменения заселенностей кристаллографических позиций различными атомами, но выбранный метод исследования не позволяет определить эти изменения более детально.



**Рис. 1.** Рентгенодифракционные спектры образцов 1 (вверху) и 2 (внизу).  
На вставке показаны первые два пика в увеличенном масштабе.

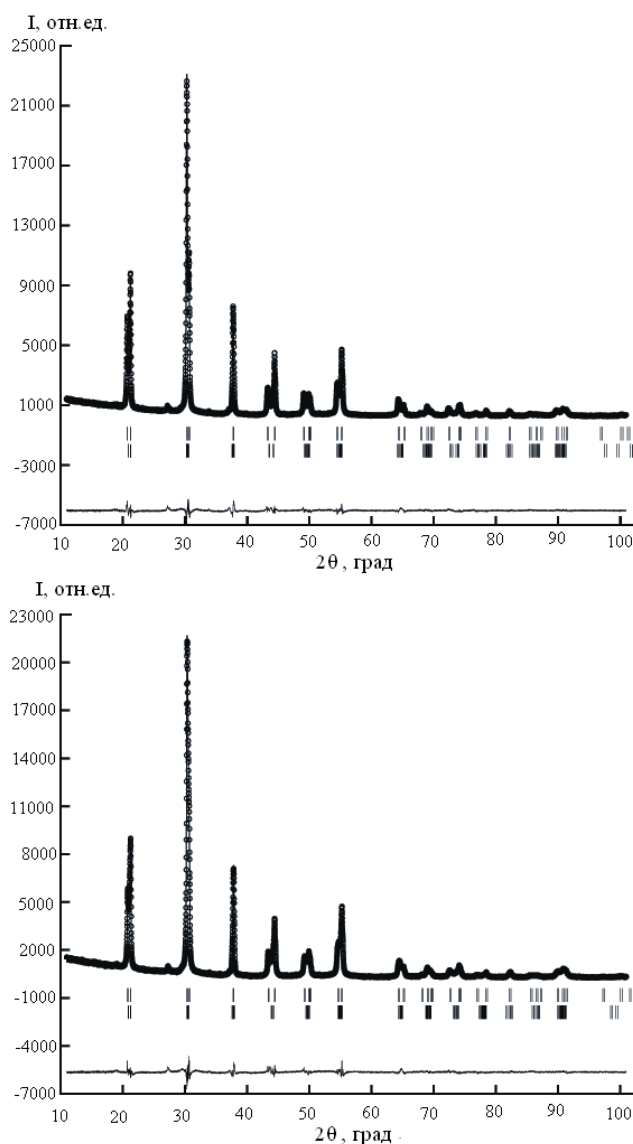


**Рис. 2.** Участок рентгенодифракционного спектра образца 2 (крестики) и модельные спектры (сплошные линии): общий и составляющие (слева – направо, пики: (001) тетрагональной фазы, (001) моноклинной базоцентрированной фазы, (110) моноклинной базоцентрированной фазы, (100) тетрагональной фазы).

Основные результаты уточнения структур образцов 1 и 2 методом Ритвельда

|                                                                      | Образец 1                         | Образец 2                         | Данные из [3] |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| $R_{wp}, \%$                                                         | 6.56                              | 6.82                              | 10.69         |
| Объемная доля тетрагональной фазы, %                                 | 71(1)                             | 79(1)                             |               |
| Объемная доля моноклинной фазы, %                                    | 29(1)                             | 21(1)                             |               |
| RB для моноклинной фазы, %                                           | 3.57                              | 3.57                              |               |
| RB для тетрагональной фазы, %                                        | 3.64                              | 3.55                              |               |
| Тетрагональная фаза (пр. гр. $P4mm$ )                                |                                   |                                   |               |
| Параметры элементарной ячейки                                        |                                   |                                   |               |
| $a, \text{\AA}$                                                      | 3.9900(2)                         | 3.9923(2)                         | 3.9928(2)     |
| $c, \text{\AA}$                                                      | 4.0868(2)                         | 4.0764(2)                         | 4.0745(4)     |
| Координаты атомов (x, y, z) и тепловые факторы ( $B, \text{\AA}^2$ ) |                                   |                                   |               |
| Pb(Bi)                                                               | 0; 0; 0; 2.4(1)                   | 0; 0; 0; 2.8(1)                   |               |
| Ti(Sc)                                                               | 0.5; 0.5; 0.444(2); 0.1           | 0.5; 0.5; 0.447(2); 0.1           |               |
| O1                                                                   | 0.5; 0.5; -0.068(5); 0.3          | 0.5; 0.5; -0.091(4); 0.3          |               |
| O2                                                                   | 0.5; 0; 0.563(3); 0.3             | 0.5; 0; 0.557(3); 0.3             |               |
| Моноклинная фаза (пр.гр. $Cm$ )                                      |                                   |                                   |               |
| Параметры элементарной ячейки                                        |                                   |                                   |               |
| $a, \text{\AA}$                                                      | 5.6643(9)                         | 5.6853(5)                         | 5.6815(5)     |
| $b, \text{\AA}$                                                      | 5.6733(7)                         | 5.6642(5)                         | 5.6680(5)     |
| $c, \text{\AA}$                                                      | 4.0666(5)                         | 4.0384(4)                         | 4.0369(4)     |
| $\beta$                                                              | 89.621(9)                         | 89.546(5)                         | 89.63(1)      |
| Координаты атомов (x, y, z) и тепловые факторы ( $B, \text{\AA}^2$ ) |                                   |                                   |               |
| Pb(Bi)                                                               | 0; 0; 0; 1.6(1)                   | 0; 0; 0; 1.23(7)                  |               |
| Ti(Sc)                                                               | 0.85(4); 0; 0.568(3); 0.1         | 0.494(5); 0; 0.574(3); 0.1        |               |
| O1                                                                   | 0.555(7); 0; 0.114(7); 0.3        | 0.604(6); 0; 0.074(1); 0.3        |               |
| O2                                                                   | 0.342(5); 0.604(5); 0.606(6); 0.3 | 0.359(5); 0.590(5); 0.604(6); 0.3 |               |

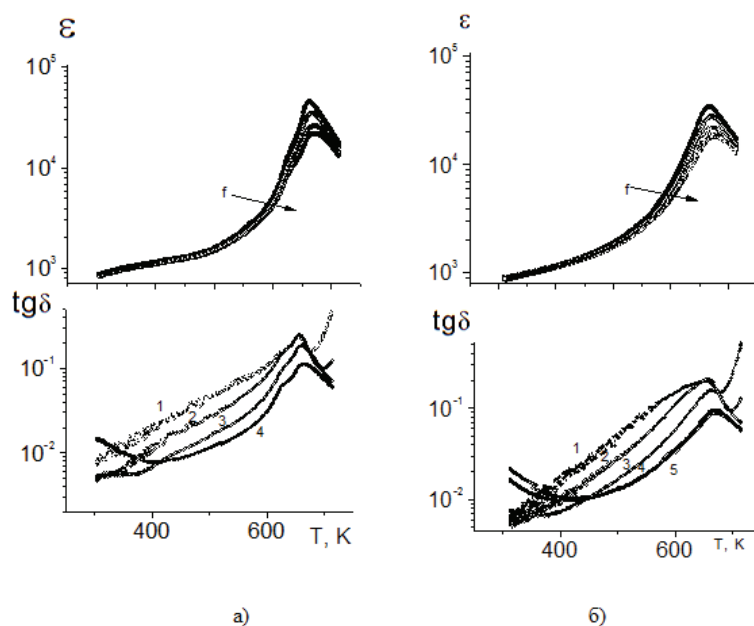
Примечание: Атомы висмута и свинца занимают одну и ту же кристаллографическую позицию статистически в соотношении 37:63. То же самое относится к атомам скандия и титана.



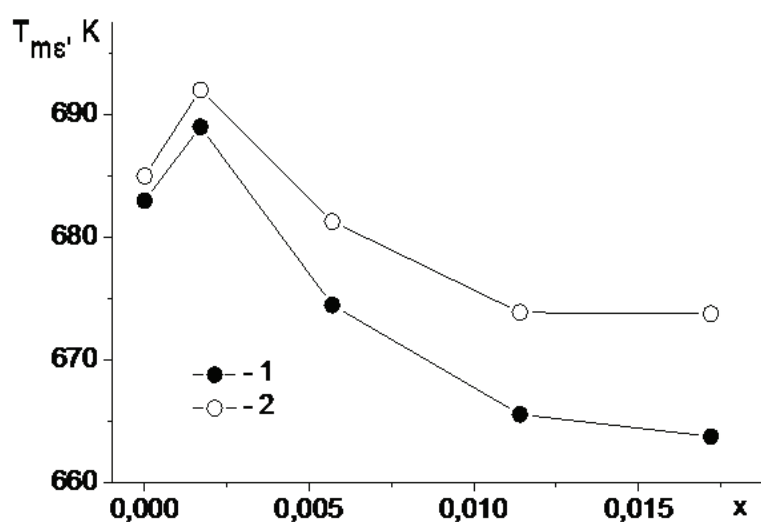
**Рис. 3.** Графическое представление результатов рентгеноструктурного анализа образцов 1 (вверху) и 2 (внизу). Экспериментальные данные – кружки; смоделированные спектры – сплошные линии; разность между зарегистрированным и смоделированным спектрами показана в нижней части рисунка; положения дифракционных пиков, отвечающих выбранным моделям, отмечены вертикальными черточками.

**Диэлектрические измерения.** На температурных зависимостях диэлектрических проницаемости  $\epsilon(T)$  и потерь  $\text{tg}\delta(T)$  наблюдаются выраженные максимумы в области 650–690 К (рис. 4). Положение максимума на зависимости  $\epsilon(T) - T_{\text{ме}}$  при  $y = 0-0.002$  практически не зависит от частоты измерительного поля, при  $y = 0.006-0.018$  положение  $T_{\text{ме}}$  смещается с ростом частоты от 0.1 до 100 кГц в сторону высоких температур на 7–12 К (рис. 5). Эти данные свидетельствуют о том, что указанные максимумы на зависимостях  $\epsilon(T)$  и  $\text{tg}\delta(T)$  вызваны происходящим в образцах сегнетоэлектрическим фазовым переходом. При этом, с ростом в образцах содержания  $\text{MnO}_2$  они приобретают свойства, характерные для сегнетоэлектриков-релаксоров [9]. На низкотемпературном склоне зависимостей  $\epsilon(T)$  и  $\text{tg}\delta(T)$  поляризованного образца наблюдается дополнительный пик в

виде «ступеньки», который отсутствует на деполяризованном образце (рис. 4). Положение дополнительного максимума  $T_2 = 633$  К не зависит от частоты измерительного поля. По-видимому, такое поведение связано с переходом при поляризации сегнетоэлектрического-релаксорного состояния в сегнетоэлектрическое состояние, которое при нагревании переходит обратно в сегнетоэлектрическое-релаксорное состояние.



**Рис. 4.** Температурные зависимости  $\varepsilon(T)$  и  $\text{tg}\delta(T)$  керамических образцов системы  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3$ ,  $x = 0.63$  с добавлением 0.05% масс. (0.17% мол.)  $\text{MnO}_2$ , измеренные на частотах (кГц): 0.1 – 1, 1 – 2, 10 – 3, 100 – 4 и 200 – 5; а) поляризованный образец, б) деполяризованный образец после нагрева до 720 К.



**Рис. 5.** Зависимости положения максимума на зависимости  $\varepsilon(T)$  образцов  $\text{BS} \cdot \text{PT} \cdot x\text{MnO}_2$  от содержания  $\text{MnO}_2$  (положение максимума  $\varepsilon$  определялось на частотах 0.1 кГц – кривая 1 и 100 кГц – кривая 2).

### Выводы

Рентгеноструктурный анализ керамических образцов состава  $(1-x)\text{BiScO}_3 \cdot x\text{PbTiO}_3 \cdot y\text{MnO}_2$ ,  $x = 0.63$ ,  $y = 0.0017$  и  $0.0118$ , показывает наличие в них двух перовскитоподобных фаз. Основной является фаза, которая характеризуется нецентросимметричной тетрагональной пространственной группой  $P4mm$ , дополнительной – фаза, которая характеризуется моноклинной пространственной группой  $Cm$ . Изменение содержания введенной добавки  $\text{MnO}_2$  приводит к небольшим изменениям в количественном соотношении вышеупомянутых фаз, параметрах их элементарных ячеек, а также координат атомов и тепловых факторов атомов.

Диэлектрические измерения показывают, что при низком содержании вводимых в керамику добавок  $\text{MnO}_2$  ( $y \leq 0.002$ ) образцы проявляют обычные сегнетоэлектрические свойства с точкой Кюри, лежащей при 685–690 К. С увеличением содержания добавок  $\text{MnO}_2$  образцы приобретают свойства, характерные для сегнетоэлектриков-релаксоров, которые проявляются в смещении положения максимума диэлектрической проницаемости с ростом частоты измерительного поля в сторону высоких температур. Выявленные структурные характеристики вышеуказанных керамических образцов не дают ответа на причину появления релаксорных свойств.

### Литература:

1. Eitel R.E., Randall C.A., Shrout Th.R., Park S.-E. Preparation and characterization of high temperature perovskite ferroelectrics in the solid-solution  $(1-x)\text{BiScO}_{3-x}\text{PbTiO}_3$  // Jpn. J. Appl. Phys. 2002. V. 41. P. 2099–2104.
2. Eitel R.E., Zhang S.J., Shrout T.R., Randall C.A., Levin I. Phase diagram of the perovskite system  $(1-x)\text{BiScO}_3-x\text{PbTiO}_3$  // J. Appl. Phys. 2004. V. 96. P. 2828–2831.
3. Zhang S.J., Eitel R.E., Randall C.A., Shrout T.R., Alberta E.F. Manganese-modified  $\text{BiScO}_3\text{--PbTiO}_3$  piezoelectric ceramic for high temperature shear mode sensor // Appl. Phys. Lett. 2005. V. 86. 262904 (3 pages).
4. Chaigneau J., Kiat J.M., Malibert C., Bogicevic C. Morphotropic phase boundaries in  $(\text{BiScO}_3)_{1-x}(\text{PbTiO}_3)_x$  ( $0.60 < x < 0.75$ ) and their relation to chemical composition and polar order // Phys. Rev. 2007. V. B76. 094111 (7 pages).
5. Chen J., Cheng J., Dong S. Review on high temperature piezoelectric ceramics and actuators based on  $\text{BiScO}_3\text{--PbTiO}_3$  solid solutions // J. Adv. Dielectrics. 2014. V. 4. № 1. 1430002 (14 pages).
6. Haumont R., Dkhil B., Kiat J.M., Al-Barakaty A., Dammak H., Bellaiche L. Cation-competition-induced monoclinic phase in high piezoelectric  $(\text{PbSc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3)_{1-x}(\text{PbTiO}_3)_x$  compounds // Phys. Rev. B. 2003. V. 68. 014114 (p. 1–10).
7. Krumm S. WinFit. V. 1.2, 1996.
8. Rodriguez-Carvajal J. FullProf Suite Program (1.0) Version Feb. 2007.
9. Bokov A.A., Ye Z.-G. Recent progress in relaxor ferroelectrics with perovskite structure // J. Mater. Sci. 2006. V. 41. P. 31–52.

УДК 621

## **ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИВОДОВ РОБОТА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**И.В. Таржанов, к.т.н.**

*Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия*

*@Автор для переписки, e-mail: tarzhanoviv@yandex.ru*

В статье рассматриваются возможные способы проектирования с уменьшением энергозатрат роботов путем выбора расписания включения приводов степеней подвижности, а также уменьшением работ сил трения при торможении степеней подвижности вблизи оси позиционирования.

**Ключевые слова:** манипулятор, приводы роботов, проектирование приводов, расписание включения.

## **THE POSSIBILITIES OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION OF THE ROBOT DRIVES IN THE DESIGN PHASE**

**I.V. Tarzhanov**

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia*

*@Corresponding author e-mail: tarzhanoviv@yandex.ru*

The article discusses possible ways of designing with reduction of the energy consumption of robots by choice of schedules, the inclusion of actuators degrees of freedom, and reduction of work forces of friction when braking degree of freedom near the axis positioning.

**Keywords:** manipulator, robot drives, drive engineering, power schedule.

При решении задачи проектирования с уменьшением энергозатрат в приводах робота, затрачиваемых на перемещение звеньев манипулятора, прежде всего, нужно учитывать последовательность включения приводов робота и способы управления ими.

Расписание включения приводов каждого сочленения определяет последовательность их включения для обеспечения заданного перемещения выходного звена.

Для примера рассмотрим кинематическую схему манипулятора робота, приведенную на рис. 1. При работе манипулятор может одновременно совершать три движения: вращение системы ABCD вокруг вертикальной оси (обобщенная координата  $q_1$ ); вращение кинематической цепи BCD вокруг оси B ( $q_2$ ) и вращение звена CD вокруг оси C ( $q_3$ ).

Можно последовательно включать приводы, например, сначала поворот в сочленении А, потом поворот в сочленении В, потом поворот в сочленении С. Рассмотрев последовательность включений приводов, получим семь возможных последовательных режимов включения приводов. Траектория движения точки D выходного звена при этом будет различной.

Возможная последовательность включения приводов (расписание их включения) в сочленениях А, В и С приведена в таблице.

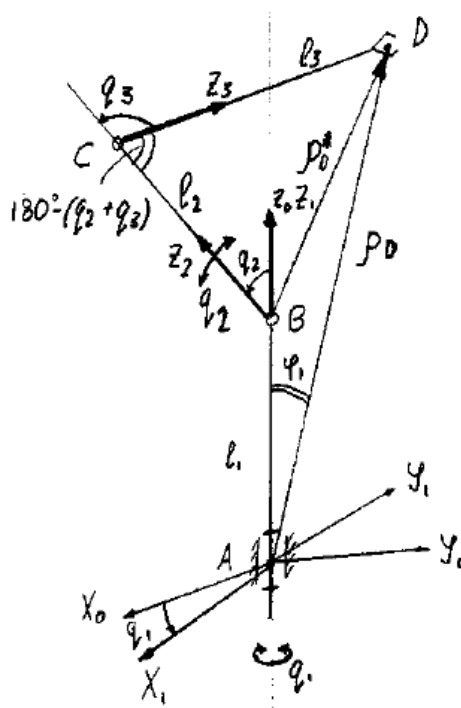


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора.

Расписание включения приводов в сочленениях A, B и C манипулятора

| Сочленения | Возможная последовательность включения приводов* |                   |                  |                  |                   |                  |                    |
|------------|--------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| A          | Q <sub>1</sub>                                   | q <sub>1</sub> NN | q <sub>1</sub> H | q <sub>1</sub> H | NNq <sub>1</sub>  | Hq <sub>1</sub>  | Hq <sub>1</sub> NN |
| B          | Q <sub>2</sub>                                   | Hq <sub>2</sub> H | q <sub>2</sub> H | Hq <sub>2</sub>  | Hq <sub>2</sub> H | q <sub>2</sub> H | q <sub>2</sub> NN  |
| C          | Q <sub>3</sub>                                   | NNq <sub>3</sub>  | Hq <sub>3</sub>  | q <sub>3</sub> H | q <sub>3</sub> NN | q <sub>3</sub> H | NNq <sub>3</sub>   |

\*q – привод включен; H – привод не включен.

Таким образом, определяя последовательность включения приводов, можно получить такую траекторию движения точки D выходного звена, которая обеспечит наименьший объем движения во всех кинематических парах механизма манипулятора, что существенно позволяет снизить энергозатраты приводов робота, так как

$$|W|_{\min} = \sum_{i=1}^n \Theta_i,$$

где  $|W|_{\min}$  – объем движения во всех кинематических парах;

$\Theta_i$  – перемещение в  $i$ -ом сочленении.

Кроме того, экономичность движения зависит от длины траектории, по которой движется выходное звено. Поэтому, подбирая последовательность включения привода соответствующим образом, можно получить нужную траекторию движения, т.е. решить задачу о положении путем расписания включения приводов.

С целью более точного решения задачи о положении с получением одновременно минимизации энергозатрат, необходимо при использовании метода конечного поворота

твердого тела учитывать расписание включения приводов, а именно порядок выполнения поворота отдельных звеньев.

При повороте звеньев 2 и 3 (рис. 1) положение точки D выходного звена определяется размером:

$$\rho_D^* = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_3 \cos[180^\circ - (q_3 + q_2)]} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_3 \cos(q_3 + q_2)}.$$

При повороте только 1-ого звена положение точки D определяется постоянным радиусом  $\rho_D$ , а точка D имеет своей траекторией окружность, расположенную в плоскости, перпендикулярной оси АВ:

$$\rho_D = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos q_2 + l_3 \cos(90^\circ - q_3) = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos q_2 + l_3 \sin q_3,$$

причем надо помнить, что  $\varphi_1 = \varphi_1(q_2, q_3)$ , следовательно, в уравнение для определения размера  $\rho_D$  необходимо вводить последовательность поворота отдельных звеньев.

Если же траектория точки D выходного звена задана, то при рассмотрении системы управления необходимо так распределять последовательность включения приводов, чтобы обеспечить заданную траекторию при соблюдении условия получения минимального объема движения во всех кинематических парах. В этом случае решается обратная задача позиционирования – по заданным положениям выходного звена необходимо определить обобщенные координаты  $q_1, q_2, q_3$  и последовательность их включения, чтобы обеспечить движение выходного звена по заданной траектории.

Таким образом, при решении задачи об уменьшении энергозатрат привода робота первый вопрос, который должен быть рассмотрен, это связь прямой и обратной задачи позиционирования с расписанием включения приводов. Необходимо получить зависимость

$$\rho_D = \rho(q_1 \cdot q_2 \cdot q_3) \Rightarrow q_1 = q(q_2 \cdot q_3); q_2 = q(q_1 \cdot q_3); q_3 = q(q_1 \cdot q_2), \text{ а } q = q(t),$$

где  $t$  – время включения.

Временной интервал движения выходного звена, в основном, складывается из разгона и торможения (режим установившегося движения соответствует минимальному интервалу движения).

Мощность, затрачиваемая на разгон и торможение, в общем случае равна:

$$N_B = \left( \frac{\omega}{\eta} \right) (M_H + M_U),$$

где  $\eta$  – к.п.д. передач, связывающих двигатель с исполнительным звеном;

$M_H$  – момент неуравновешенности, возникающий от неуравновешенных масс, [Н·м];

$M_U$  – динамический (инерционный) момент, возникающий в периоды разгона и торможения, [Н·м];

$$M_U = -J_M \varepsilon,$$

где  $J_m$  – момент инерции вращающихся масс манипулятора,  $[кг \cdot м^2]$ ;

$\varepsilon$  – угловое ускорение,  $[1/с^2]$ .

Если же движение осуществляется с помощью двигателя с поступательно движущимся двигателем, то мощность привода равна:

$$N_B = \left( \frac{v}{\eta} \right) (P_H + P_U),$$

где  $P_H$  – силы, действующие на привод от неуравновешенных масс,  $[Н]$ ;

$P_U$  – инерционные силы, действующие на привод в периоды разгона и торможения,  $[Н]$ .

$$\overline{P_U} = -\overline{ma},$$

где  $m$  – масса поступательного движущихся звеньев,  $[кг]$ ;

$a$  – ускорение этих звеньев,  $[м/с^2]$ .

Из вышесказанного очевидно, что мощность двигателя зависит от перемещаемых масс и от их ускорений. Наибольших значений ускорения достигают в режимах разгона и торможения. Таким образом, режимы включения приводов надо назначить так, чтобы силы инерции, возникающие при движении одного звена, гасили бы силы инерции, возникающие при движении другого звена.

Кроме того, очень важно, чтобы в момент включения или отключения того или иного двигателя на выходном звене не наблюдались бы скачки ускорений, а, следовательно, скачки сил инерции, то есть удары.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при решении задачи об уменьшении энергозатрат приводов второй вопрос, который должен быть рассмотрен, это связь структуры робота (массовые характеристики), ускорения звеньев с расписанием включения приводов.

Если теперь рассматривать режим торможения, то мощность, затрачиваемая на торможение равна

$$N = \frac{A_{bc}}{t},$$

где  $t$  – время торможения,  $[с]$ ;

$A_{bc}$  – работа сил, затрачиваемая на торможения,  $[Н \cdot м]$ .

Из формулы видно, что чем медленнее происходит торможение, тем меньше мощность. Увеличение времени торможения, с одной стороны, позволяет гарантированно получить затухание вынужденных колебаний выходного звена вблизи точки позиционирования, увеличивая точность, а, с другой стороны, увеличивает время работы робота, что приводит к уменьшению производительности.

Следовательно, третьим вопросом, который надо рассмотреть при решении задачи об уменьшении энергозатрат при работе робота, это связь между временем торможения, позволяющим получить большую точность позиционирования, производительностью робота и энергозатратами, а также с расписанием включения и отключения приводов.

Кроме поставленных трех вопросов, необходимо еще рассмотреть вопрос о соотношении скоростей всех звеньев манипулятора, так как иначе при различных расписаниях

включения приводов траектории движения будут различны, а, значит, и зоны обслуживания робота будут меняться. Поэтому расписание движения звеньев нужно согласовывать со скоростями звеньев.

Чтобы показать, как порядок включения приводов влияет на форму и величину траектории движения выходного звена, рассмотрим двухзвенный плоский манипулятор с 2-мя вращательными парами V класса (рис. 2).

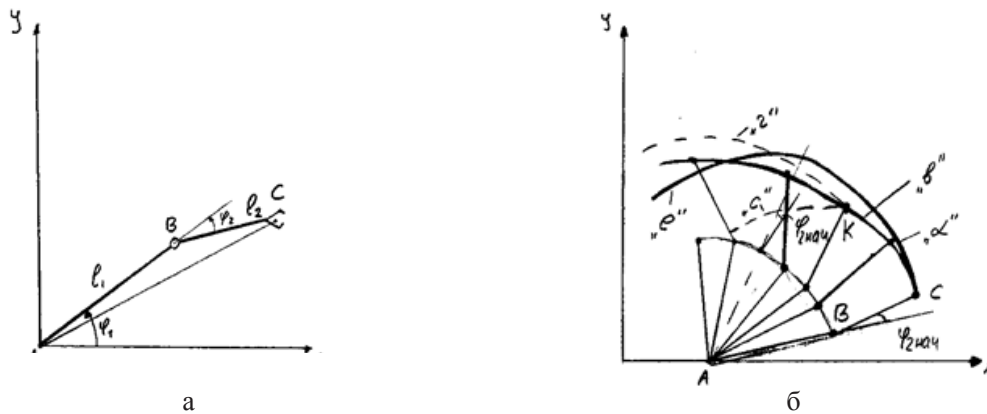


Рис. 2. Схема манипулятора с возможными траекториями точки С:

При одновременном движении звеньев 1 и 2 (оба двигателя включаются одновременно) (рис. 2а) и при условии, что углы  $\varphi_1 = \varphi_2$ , траектория движения точки С представляет собой кривую с увеличивающимся радиусом кривизны по мере возрастания угла  $\varphi_1$  (ветвь «в», рис.2б), равно:

$$r = l_{AC} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos[180^\circ - \varphi_2]} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \varphi_2}$$

Если  $\varphi_1 > \varphi_2$ , то при одновременном движении звеньев 1 и 2 при повороте звена 1 на угол  $\varphi_1 = \varphi_2$  траектория движения точки С на этом угле поворота будет соответствовать ветви «в» до точки К, а при дальнейшем вращении звена 1 траектория точки С будет представлять собой окружность с радиусом

$$r_1 = l_{AC} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \varphi_{2\max}} \quad (\text{ветвь «г», рис.2б}).$$

Если  $\varphi_1 < \varphi_2$ , то при одновременном движении звеньев 1 и 2 при повороте звена на угол  $\varphi_1$  траектория движения точки С будет соответствовать ветви «в» до точки К, далее звено 1 неподвижно, а звено 2 будет продолжать вращение вокруг оси В на угол  $\varphi_2 - \varphi_1$ , траектория движения точки С будет представлять собой окружность радиуса  $r_2 = l_{BC}$  (ветвь «с», рис. 2б).

Если сначала включается привод в сочленении А (вращение звена 1 на угол  $\varphi_1$ ), то траектория точки С будет представлять собой окружность радиуса

$$r_3 = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \varphi_{2нач}} \quad (\text{ветвь «д», рис. 2б}),$$

далее звено 1 неподвижно, а звено 2 вращается вокруг оси В на угол  $\varphi_2$ , траектория движения точки С – окружность радиуса  $r_4 = l_{BC}$  (ветвь «е», рис. 2б).

Как видно из приведенного примера, при незаданной траектории движения, расписание включения приводов при одной и той же структуре манипулятора может быть различным.

Итак, при решении задачи о положениях выходного звена должно быть либо задано расписание включения приводов – тогда траектория движения выходного звена будет определяться структурой манипулятора, углами поворота звеньев и расписанием включения приводов, либо расписание включения приводов должно определяться из условия получения заданной траектории движения выходного звена.

При составлении программы автоматического проектирования роботов необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы.

### Литература:

1. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Проектирование промышленных роботов. М.: Высшая школа, 1996.
2. Механика промышленных роботов / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. М.: Высшая школа, 1988.

УДК 519.857

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**В.И. Струченков,**

*Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия*

*@Автор для переписки, e-mail: str 1942@mail.ru*

В статье рассматриваются различные подходы к созданию компьютерных программ для проектирования трасс линейных сооружений. Указываются недостатки интерактивного проектирования с заданием проектных решений проектировщиком и использованием компьютера для решения вспомогательных задач. Критически анализируется технология автоматизированного проектирования без обратных связей, как не учитывающая взаимосвязь проектных задач. Рекомендуется комплексный подход с решением проектных задач во взаимной увязке и САПР с обратными связями, в которой компьютер проектирует продольный и поперечные профили земляного полотна совместно профили по вариантам плана трассы. Излагается новый алгоритм реализации известного метода приведенного градиента, разработанный с учетом структурных особенностей системы ограничений.

**Ключевые слова:** трасса, план и продольный профиль, нелинейное программирование, целевая функция, градиент, обратная связь.

## COMPUTER TECHNOLOGIES IN LINE STRUCTURE ROUTING

**V.I. Struchenkov**

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia*

*@Corresponding author e-mail: str 1942@mail.ru*

Under study are two approaches to creating computer programs for computer-aided design of linear structures trails.

The first approach, which realised in the existing CAD of linear structures, is not focused on the optimization of the design decisions, as the computer in these systems is used only for the decision support tasks, but all design solutions are appointed by man.

The second approach involves the use of a computer to generate design solutions based on mathematical models and optimization algorithms.

In this paper is shown how in the framework of this approach solved the problem of the joint design of longitudinal and transverse profiles of the roadbed of railways and roads. The algorithm of nonlinear programming using particular constraints of the system.

It is recommended to use an integrated approach to solving problems of design and creation of CAD with feedback.

**Keywords:** route, horizontal and vertical alignment, nonlinear programming, objective function, gradient, feedbacks.

## Введение

Линейные сооружения (дороги, трубопроводы, каналы и др.) – это сооружения, положение которых на местности определяется осью сооружения, т.е. трассой. Трасса – трехмерная кривая, которая традиционно представляется двумя плоскими кривыми: планом и продольным профилем. План трассы – это проекция трассы на горизонтальную плоскость, а продольный профиль – зависимость координаты  $Z(s)$  от длины в плане. Продольный профиль получается при развертке на плоскость вертикальной поверхности, проходящей через трассу. Пересечение этой вертикальной поверхности с поверхностью земли дает продольный профиль земли по трассе, а трасса при развертке дает проектную линию. Соответственно, проектирование трассы сводится к двум взаимосвязанным задачам: проектирование плана и проектирование продольного профиля.

На положение трассы на местности влияют различные факторы: рельеф земли, геологические, гидрологические, климатические условия, наличие других коммуникаций и запрещенных зон (например, по требованиям экологии).

В условиях равнинного рельефа особых сложностей в проектировании трасс, как правило, не возникает. Исключение могут составлять районы со сложной геологией и наличием большого числа контурных ограничений в виде запрещенных зон, развитой инфраструктурой и др. В обжитых районах положение трассы в плане практически однозначно определяется условиями землепользования, и задача поиска трехмерной кривой превращается в задачу проектирования плоской кривой, т.е. проектирования продольного профиля по одному или нескольким возможным вариантам плана трассы.

В общем случае в условиях пересеченного рельефа задача существенно усложняется из-за наличия целого ряда технических ограничений и нормативов, так как план и продольный профиль трассы должны состоять из элементов определенного вида, параметры которых ограничены. Возникает вопрос о поиске оптимального варианта трассы при проектировании плана и продольного профиля в их взаимосвязи.

Проектирование трассы предполагает решение целого ряда смежных задач. При проектировании дорог к ним относятся:

- проектирование земляного полотна (насыпей, выемок, полунасыпей-полувыемок);
- проектирование водопропускных сооружений (трубы, малые мосты);
- распределение земляных масс и выбор строительных механизмов (способов производства земляных работ) и др.

Особым случаем является наличие больших мостов и тоннелей, которые во многом определяют положение трассы в плане и в профиле.

В традиционной практике каждая из перечисленных выше проектных задач решается при уже известном положении трассы, а корректировка положения трассы производится при появлении трудностей, например, при потере устойчивости земляного полотна.

Накоплен значительный инженерный опыт в проектировании трасс линейных сооружений, но, строго говоря, основы технологии проектирования трасс таких сооружений, как железные и автомобильные дороги, в части выработки проектных решений те же, что и 100 лет тому назад. Речь идет о том, что комплекс взаимосвязанных проектных задач, перечисленных выше, решается последовательно: на основе опыта и интуиции

специалистов (или группы специалистов) задают варианты положения трассы в плане и в продольном профиле, а затем решаются перечисленные выше проектные задачи. Эта технология (назовем ее линейной) не ориентирована на поиск оптимальных по экономическим показателям проектных решений. Она не предусматривает обратных связей, т.е. обязательной корректировки положения трассы по мере поступления дополнительной информации о решениях по земляному полотну, водопропускным сооружениям и т.д. Поэтому линейная технология не учитывает в конечном итоге такие определяющие показатели, как объем земляных работ, затраты на строительство и эксплуатацию проектируемого объекта. Известно [1], что даже относительно малые смещения трассы могут приводить к существенным изменениям указанных показателей.

Таким образом, комплекс проектных задач должен рассматриваться в их взаимосвязи.

В идеале хотелось бы формализовать задачу поиска оптимальной трассы в математической модели, учитывающей взаимосвязь проектных задач, и решить соответствующую математическую задачу оптимизации один раз. Однако в настоящее время не существует математических моделей и алгоритмов проектирования трассы как пространственной кривой, т.е. совместного проектирования плана и продольного профиля даже при известных решениях смежных проектных задач, например, при оптимизации трассы дороги по уже готовому проекту.

Широкое распространение ЭВМ обусловило два направления в разработке и применении систем автоматизированного проектирования (САПР) трасс линейных сооружений, таких как железные и автомобильные дороги, трубопроводы, каналы и пр.

Первое направление основано на использовании программ визуализации проектных решений и комплексной автоматизации изготовления проектной документации (чертежи, сметы и т.п.); широкое применение нашли разработки фирмы AutoDesk: многократно усовершенствованный AutoCad и др. Соответствующая технология эффективна при наличии небольшого числа вариантов проектных решений, например, при проектировании зданий, но принципиально ущербна при проектировании трасс линейных сооружений. В действующих САПР линейных сооружений [2–4] варианты проектных решений назначаются человеком на основе опыта и интуиции, а компьютер и все периферийное оборудование используются для увязки этих вариантов и оформления результатов. Другими словами, автоматизированы только вспомогательные операции, но технология выработки проектных решений как по плану и продольному профилю, так и по решению смежных проектных задач принципиально та же, то есть линейная.

Второе направление предусматривает формализацию творческих проектных задач в математических моделях. При этом получаются задачи вариационного исчисления с ограничениями на искомую экстремаль (трассу) и со сложным функционалом. При переходе к дискретному представлению трассы (или продольного профиля) получаются задачи математического программирования с большим числом переменных и ограничений.

В рамках второго направления еще в 60-х годах прошлого века советскими исследователями были разработаны методы проектирования оптимального продольного профиля новых железных дорог по заданному плану трассы [5, 6]. Они были усовершенствованы в 70-х годах и, несмотря на отсутствие в то время технических средств достаточной мощности, соответствующие программы получили широкое применение при проекти-

ровании БАМа, а затем не только железных, но и автомобильных дорог [7–9]. Установлено, что оптимизация даже с использованием простых математических моделей дает существенный экономический эффект [8]. Однако, в 1990-х годах при переходе на ПЭВМ все эти разработки оказались не востребованы в силу резкого сокращения числа объектов нового строительства и отсутствия заинтересованности проектных организаций в повышении качества проектов трасс линейных сооружений и, соответственно, снижения затрат на строительство и последующую эксплуатацию.

В настоящее время имеются технические возможности в рамках второго направления разработать развитые САПР (Intelligence Systems), реализовать принципиально новые технологии проектирования трасс линейных сооружений и существенно повысить качество проектов. При этом линейная технология должна быть заменена технологией с обратными связями и компьютерной выработкой проектных решений на основе математических моделей и алгоритмов оптимизации.

Цель настоящей статьи – показать, как на новой технической базе решена задача совместного проектирования продольного и поперечных профилей земляного полотна железных и автомобильных дорог и реализована технология решения проектных задач с обратными связями. При проектировании трубопроводов и каналов взаимосвязь проектных задач не имеет особого значения с точки зрения проектирования оптимального продольного профиля. Поэтому далее рассматривается проектирование дорог, как наиболее сложных объектов.

### Содержательная постановка задачи

Оптимальному варианту трассы должен соответствовать минимум взвешенной суммы затрат на строительство и последующую эксплуатацию дороги. Следовательно, трасса – это экстремаль некоторого функционала, и задача поиска оптимальной трассы может рассматриваться как задача вариационного исчисления. Прежде всего, отметим, что в явном виде не удастся выразить функционал, или записать уравнение трассы, т.е. формализовать задачу.

Требования к трассе железной дороги включают:

1. *В плане*: элементами плана трассы являются отрезки прямых и окружностей, сопрягаемые клотоидами. При этом длины элементов должны быть не менее заданных величин, радиусы кривых и параметры клотоид тоже ограничены. Соответствующие ограничения на план трассы выражаются нелинейными неравенствами относительно переменных, определяющих план [10]. Принципиальных отличий плана трассы железных и автомобильных дорог нет.

2. *В продольном профиле* ситуация иная: элементы продольного профиля железных дорог – это отрезки прямых, так что проектная линия ломаная, на ее элементы также накладываются ограничения. В углы ломаной вписываются окружности. При малых радиусах возникающими отклонениями от ломаной можно пренебречь в силу их малости [10], но при проектировании трасс высокоскоростных железных дорог радиусы вертикальных кривых существенно больше, и эти отклонения важны.

Продольный профиль автомобильной дороги может проектироваться подобным же образом, но чаще в качестве элементов проектной линии используют параболы второй

степени, в частности, отрезки прямых. На стыках элементы имеют общую точку и общую касательную: так называемый параболический сплайн.

Принципиальная особенность рассматриваемой задачи состоит в том, что в каждом конкретном случае неизвестно и число элементов плана, и число элементов профиля, т.е. размерность задачи, что затрудняет использование теории нелинейного программирования. Отметим, что поиск трассы как пространственной кривой сводится к многоэкстремальной задаче нелинейного программирования с нелинейной системой ограничений [10, 11].

В силу отмеченных трудностей и по ряду других причин для поиска оптимальной трассы как пространственной кривой пока не созданы приемлемые для практических целей математические модели и алгоритмы проектирования. В этой связи в качестве первого шага нами решена задача проектирования продольного профиля по заданному варианту плана трассы. При разработке первых программ, проектирующих продольный профиль, в 70-х годах прошлого века [8] в силу ограниченных технических возможностей использовались простые математические модели, основанные на следующих допущениях:

- поперечные профили земли задавались показателями косогорности, они принимались одностатными;
- не было совместного проектирования продольного и поперечных профилей земляного полотна;
- не учитывалось наличие нескольких слоев грунта;
- для уменьшения размерности задачи продольный профиль земли сглаживался.

Задача сводилась к виду: найти  $\min \Phi(\mathbf{x}, \mathbf{c})$  при  $\mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}$ ,

где  $\mathbf{x}$  – вектор неизвестных;

$\mathbf{c}$  – вектор параметров;

матрица  $\mathbf{A}$  и вектор  $\mathbf{b}$  – определяют систему линейных ограничений.

Новые технические возможности позволили создать систему совместного проектирования продольного и поперечных профилей новых железных дорог в пределах перегона и ее аналог для проектирования автодорог. Формально решается задача того же вида, но используются новые математические модели и алгоритм оптимизации.

### Формализация задачи

Если обозначить профиль земли  $H(s)$ , а проектную линию  $Z(s)$ , то в первом приближении по заданной  $H(s)$  надо найти такую ломаную  $Z(s)$ , которая удовлетворяет всем ограничениям, и обеспечен

$$\min \int_0^{S_0} F(Z(s), H(s), s) ds \quad (1)$$

где  $S_0$  – длина трассы в плане, а функция  $F$  моделирует строительные затраты на элемент длины. При этом учитываются затраты на водопропускные и другие искусственные сооружения, распределение земляных масс, выбор строительных механизмов.

Задача вариационного исчисления (1) сводится к задаче нелинейного программирования, обладающей интересными особенностями независимо от конкретного вида функции  $F$ . Поскольку число элементов искомой ломаной неизвестно, то приходится считать,

что переломы профиля земли и проектной линии (т.е. профиля трассы) имеют одни и те же абсциссы. Профиль земли при использовании цифровых моделей рельефа получается в виде ломаной с неравномерным шагом, и совпадение абсцисс позволяет задать число элементов  $n$  (размерность задачи) и их длины  $s_i$  (в плане). Получится ломаная линия, число звеньев которой больше, чем нужно, но при соблюдении ограничений на ее параметры отклонения от окончательной  $Z(s)$  невелики [8]. Идея в том, чтобы найти эту ломаную путем решения задачи оптимизации, затем преобразовать ее в ломаную с элементами, длины которых не менее допустимой, определив тем самым реальную размерность задачи и начальное приближение. На последнем этапе следует выполнить оптимизацию при всех ограничениях и необходимых уточнениях целевой функции. Такой многоэтапный процесс с уточнением математической модели и ее параметров является обычным для решения сложных проектных задач творческого характера.

### Система ограничений

Зная число и длины элементов искомой ломаной, можно аналитически выразить все ограничения на  $Z(s)$ , если принять в качестве неизвестных  $z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) ее ординаты в точках перелома. Ограничения делятся на три группы:

1. Ординаты в отдельных точках  $z_i \leq z_i^{\max}$  или  $z_i \geq z_i^{\min}$ .
2. Уклоны элементов профиля

$$a_i \leq (z_{i+1} - z_i)/s_i \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

здесь  $s_i$  – длины элементов.

Эти ограничения являются дискретным аналогом ограничения на первую производную.

3. Разности уклонов смежных элементов:

$$c_i \leq (z_{i+2} - z_{i+1})/s_{i+1} - (z_{i+1} - z_i)/s_i \leq d_i$$

Данные ограничения являются дискретным аналогом ограничения на кривизну.

В силу малости проектных уклонов длина элемента и его проекции на ось абсцисс практически совпадают. Система ограничений имеет четко выраженную структуру. Ограничениям первой группы соответствует матрица, у которой в каждой строке все элементы равны нулю, кроме одного, который равен 1 или -1, а в каждом столбце не более двух ненулевых элементов. Ограничениям второй группы соответствует двухдиагональная матрица (два блока с разными знаками), а ограничениям третьей группы – трехдиагональная матрица (два блока с разными знаками). Именно эта структура позволила разработать новый алгоритм и решить в приемлемое время на общедоступных компьютерах возникающую задачу нелинейного программирования, размерность которой при проектировании реальных объектов достигает 1000 переменных и, соответственно, более 4000 ограничений.

Оставляя пока вопрос о конкретных моделях целевой функции и, соответственно, об алгоритме вычисления ее градиента, рассмотрим, как в новом алгоритме используется структура системы ограничений.

Широко известные алгоритмы нелинейного программирования с линейной системой ограничений [12, 13] представляют собой итерационный процесс, состоящий из следующих шагов:

1. Вычисление допустимого начального приближения  $z^0$ ;
2. Вычисление градиента целевой функции  $f^0$ ;
3. Определение множества активных ограничений (активного набора);
4. Построение направления спуска  $p^0$  в граничном линейном многообразии;
5. Проверка условий прекращения счета и, если они выполнены, то окончание процесса, иначе следующий шаг;
6. Вычисление шага  $\lambda$  и новой итерационной точки  $z^{k+1} = z^k + \lambda p^k$  и переход к пункту 2.

Эти алгоритмы отличаются способом построения вектора спуска. Если в качестве направления спуска используется проекция  $p$  антиградиента  $-\mathbf{f}$ , то стандартный алгоритм для вычисления проекции требует на каждой итерации решать систему линейных уравнений.

Так, по формуле Розена [12]

$$p = -(\mathbf{E} - \mathbf{A}^T(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1}\mathbf{A})\mathbf{f} \quad (2)$$

Здесь  $\mathbf{E}$  – единичная матрица,  $\mathbf{A}$  – матрица активных на данной итерации ограничений, верхний индекс  $T$  означает транспонирование.

При большой размерности задачи это приводит к неприемлемым затратам машинного времени.

В использовавшейся ранее программе для вычисления проекции антиградиента на каждой итерации вместо систем с матрицей  $\mathbf{A}\mathbf{A}^T$  решались системы линейных уравнений малой размерности [8]. Однако наличие структурных особенностей системы ограничений позволяет при любой комбинации активных ограничений построить базис в соответствующем граничном линейном многообразии и определять направление спуска вообще без решения каких-либо систем линейных уравнений. На этом основан новый алгоритм.

Действительно, пусть мы знаем этот базис, и его столбцы составляют матрицу  $\mathbf{C}$ . В качестве направления спуска принят  $p^* = -\mathbf{C}\mathbf{C}^T\mathbf{f}$ , то есть приведенный антиградиент [12, 13]. Для его вычисления достаточно построить только базисные векторы, вычислить  $\mathbf{C}^T\mathbf{f}$ , а потом умножить  $\mathbf{C}$  на результат. Поскольку  $(p^*, -\mathbf{f}) = (-\mathbf{C}\mathbf{C}^T\mathbf{f}, -\mathbf{f}) = (\mathbf{C}^T\mathbf{f}, \mathbf{C}^T\mathbf{f}) > 0$ , то при  $\mathbf{f} \neq 0$  вектор  $p^*$  – это направление спуска, которое можно использовать вместо проекции антиградиента. Но для решения задачи нужен еще и способ проверки возможности исключения ограничений из активного набора. В методе проекции градиента [13, 14] для этого используется формула

$$u = -(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1}\mathbf{A}\mathbf{f},$$

где  $u$  – вектор разложения  $\mathbf{f} - p$  по нормальям, то есть  $-\mathbf{f} - p = \mathbf{A}^T u$ .

Эта формула опять-таки требует вычисления  $(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1}$ , т.е. решения системы линейных уравнений).

Вектор  $n^* = -\mathbf{f} - p^*$  не является нормалью к граничному многообразию и не может быть представлен в виде  $\mathbf{A}^T u^*$ .

Один из путей решения вопроса об исключении ограничений из активного набора состоит в построении векторов, каждый из которых нарушает **одно и только одно** ограничение. Эти векторы (матрица  $\mathbf{B}$ ) образуют базис в ортогональном дополнении к нуль-пространству матрицы  $\mathbf{A}$  и в совокупности с векторами из  $\mathbf{C}$  дают полный базис. В

этом базисе матрица активных ограничений диагональная, что упрощает задачу. Например, для  $i$ -ого ограничения построен такой вектор  $\mathbf{d}_i$ . Поскольку скалярное произведение  $(\mathbf{a}_i^T, \mathbf{d}_i) > 0$ , то это ограничение можно исключить из активного набора при  $(\mathbf{d}_i, \mathbf{f}) > 0$  [12]. Здесь  $\mathbf{a}_i$  –  $i$ -ая строка матрицы активных ограничений, а  $\mathbf{f}$  – градиент целевой функции.

Данное правило надо применять ко всем векторам, каждый из которых нарушает одно и только одно ограничение. Как только будет найдено ограничение, которое можно исключить, дальнейший поиск можно прекратить, добавить вектор  $\mathbf{b}_i$  в матрицу  $\mathbf{C}$ , перевычислить приведенный антиградиент и продолжить процесс оптимизации. Характерно, что перевычисление приведенного антиградиента не требует работы с матрицами и сводится к вычитанию из каждой  $j$ -ой компоненты имеющегося приведенного антиградиента величины  $d_j^i(\mathbf{d}_i, \mathbf{f})$ . Это не сложно, тем более, что  $(\mathbf{d}_i, \mathbf{f})$  уже вычислен при анализе возможности исключения ограничения из числа активных.

При таком выборе дополнительных базисных векторов можно исключать из активного набора не одно, а сразу несколько ограничений, чтобы быстрее сформировать окончательный набор активных ограничений и сократить время счета, если принять меры по предотвращению «зигзагов» [13].

Вернемся к анализу системы ограничений и покажем, как строить базис и исключать ограничения из активного набора.

Пусть активный набор составлен из ограничений группы 2, т.е. на некотором участке трасса идет предельным уклоном  $z_{i+1} - z_i = s_i b_i$  ( $i = 1, 2, \dots, r-1$ ). В данном случае размерность нуль-пространства  $\mathbf{M}$  матрицы активных ограничений равна единице. У базисного вектора  $\mathbf{c} \in \mathbf{M}$  все компоненты равны между собой. Принимаем  $c_i = 1$  ( $i = 1, \dots, r$ ). Это участок сдвига.

Следовательно, если  $\mathbf{p}$  приведенный градиент, то  $p_j = \sum_{i=1}^r f_i$ , но если  $\mathbf{p}$  – проекция градиента, то  $p_j = \sum_{i=1}^r f_i / r$  ( $j = 1, 2, \dots, r$ ). И проекция антиградиента, и приведенный антиградиент задают одно и то же направление, хотя и отличаются множителем  $1/r$ . Базисный вектор в ортогональном дополнении к нуль-пространству матрицы  $\mathbf{A}$ , нарушающий только ограничение  $z_{k+1} - z_k = s_k b_k$ , имеет нулевые компоненты с номерами от 1 до  $k$  включительно, а все остальные его компоненты равны единице. Сумма компонент антиградиента с  $(k+1)$ -ой по последнюю равна скалярному произведению базисного вектора на антиградиент, и если она положительна, то рассматриваемое ограничение из числа активных можно исключить.

Для ограничений вида 3 (по разности уклонов) размерность нуль-пространства матрицы  $\mathbf{A}$  равна 2. Это участок поворота.

В качестве базисных векторов можно взять векторы, соответствующие повороту проектной линии с центром в начальной и конечной точках соответствующего участка. При этом все уклоны получают равные приращения, а их разности не изменятся. Задав это приращение уклонов  $\delta$  (например,  $\delta = 1$ ), последовательно вычисляем компоненты базисного вектора  $\mathbf{c}$ :

$$c_1 = 0; c_2 = \delta s_1; c_3 = \delta(s_1 + s_2); \dots; c_r = \delta(s_1 + s_2 + \dots + s_{r-1}).$$

Здесь нумерация условная: реально первый номер соответствует началу участка предельной кривизны, аналогично и для второго вектора, т.е. поворота с центром в конце

участка.

Реально возможны и комбинации активных ограничений из трех групп. Например, на участке, где активны ограничения группы 2 (трасса идет предельным уклоном), одновременно активно одно ограничение группы 1. Если это ограничение остается активным, то нельзя изменить соответствующее  $z_i$ . Становится очевидным, что все компоненты вектора спуска для рассматриваемого участка должны быть равны нулю.

Далее, наличие одного активного ограничения группы 2 на участке, где активны все ограничения группы 3, приводит к тому, что все компоненты вектора спуска на этом участке должны быть равны между собой (участок сдвига). Только при таком условии сохраняют активность все ограничения. Указанные изменения проектной линии при соответствующей комбинации активных ограничений находят отражение в структуре базисных векторов.

Возможны и более сложные комбинации активных ограничений. Так, при наличии активного высотного ограничения (группа 1) на участке поворота остается один базисный вектор, соответствующий повороту с центром в соответствующей точке. Наличие двух таких точек фиксирует весь участок, равно как наличие одной такой точки на участке сдвига.

Начальное приближение для этого процесса строится следующим образом.

1. Берется прямая, соединяющая начальную и конечную точки профиля, которые заданы.
2. Если заданы уклоны примыкания слева (в начале) или справа (в конце трассы), то с использованием предельных разностей уклонов изменяются последовательно уклоны в начале и в конце проектной линии, так что в итоге все ограничения по уклонам и разностям смежных уклонов выполнены.
3. В качестве целевой функции берется сумма квадратов невязок в высотных ограничениях (группа 1) и запускается процесс оптимизации линии, полученной в пункте 2.

В итоге имеем или допустимое по всем ограничениям, включая высотные, начальное приближение, или сообщение о невозможности решения задачи.

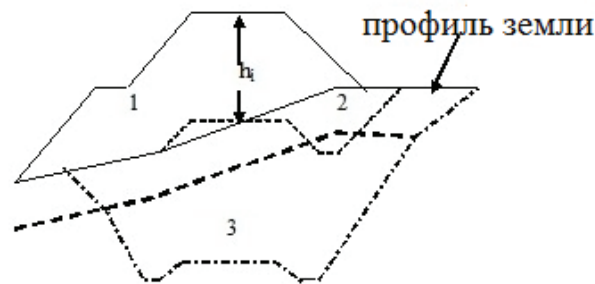
Остается рассмотреть, как строится модель целевой функции.

### Математические модели целевой функции

Если задача решается на минимум объемов земляных работ, то подынтегральная функция в выражении (1) – это площадь поперечного сечения земляного полотна, которая зависит от поперечного профиля земли и конструкции проектного поперечного профиля.

Поскольку в целевой функции (1)  $Z(s)$  и  $H(s)$  представлены *ломаными с совпадающими абсциссами переломов*, то можно выразить аналитически объемы земляных работ при заданных конструкциях поперечных профилей земляного полотна [10]. В общем случае для поперечников земли в виде ломаных (рисунки) получаем кусочно-квадратические зависимости площади  $F_i$  от рабочей отметки по оси:

$$h_i = z_i - H_i. \quad (3)$$



Поперечные профили: 1 – насыпь; 2 – полунасыпь-полувыемка; 3 – выемка.

Объем земляных работ вычисляется через площади по формулам численного интегрирования (в действующей программе по формуле трапеций). На  $i$ -ом элементе объем

$$V_i = (F_i(h_i) + F_{i+1}(h_{i+1})) \cdot s_i / 2.$$

Следовательно, для  $i = 2, \dots, n-1$

$$\frac{\partial V}{\partial h_i} = \frac{\partial F_i}{\partial h_i} (s_{i-1} + s_i) / 2 \quad (4)$$

Если  $h_i$  не фиксирована, то при  $i = 1$  принимаем в (4)  $s_0 = 0$ , аналогично для  $i = n$  принимаем  $s_n = 0$ .

Формулы (3) и (4) позволяют вычислить градиент. Расчет выполняется поэтапно. На первом этапе проектные поперечные профили в насыпях и в выемках принимаются в виде трапеций. Полученная линия рассматривается как ось зоны поиска для дальнейших уточнений.

Реальные конструкции поперечных профилей земляного полотна зависят от геологии. В системе проектирования есть библиотека типовых конструкций, для которых в зоне поиска с заданным шагом  $\Delta$  изменения рабочей отметки на каждом переломе продольного профиля земли вычисляются площади насыпей и выемок. Приближенные зависимости  $F_i(h)$  получаются параболической аппроксимацией полученных значений и используются для продолжения оптимизации. При необходимости расчет повторяется при сужении зоны поиска и уменьшении шага  $\Delta$ . Если целевая функция соответствует строительным затратам, то грунты выемок подразделяются на 4 вида соответственно возможности их применения при сооружении насыпей:

- 1) непригодные;
- 2) обыкновенные;
- 3) дренирующие нескальные;
- 4) скальные.

Площади и объемы для грунтов каждого вида вычисляются отдельно.

Дополнительно для каждого вида грунтов задаются в расчете на  $1 \text{ м}^3$ :

$q_1$  – затраты на сооружение насыпи из выемки;

$q_2$  – то же при сооружении насыпи из грунта карьеров (резервов);

$q_3$  – затраты на удаление непригодного или неиспользуемого грунта выемок в отвал. Эти данные могут отличаться на различных участках проектируемого перегона.

Строительные расходы по сооружению земляного полотна  $K$  через объемы насыпей  $v_f$  и выемок  $v_c$  в зависимости от соотношения объемов вычисляются следующим образом.

1. Если  $v_f > v_c$ , то  $K = q_1 v_c + q_2 (v_f - v_c) = q_2 v_f + (q_1 - q_2) v_c$
2. Если  $v_f \leq v_c$ , то  $K = q_1 v_f + q_3 (v_c - v_f) = (q_1 - q_3) v_f + q_3 v_c$

Наличие непригодного грунта учитывается отдельно.

Характерно, что коэффициенты при  $v_f$ ,  $v_c$  (приведенные единичные стоимости) меняются от итерации к итерации, если меняется соотношение объемов. Поэтому на каждой итерации вычисляются площади и объемы по каждому участку, на котором насыпи и выемки сооружаются совместно, затем определяются приведенные единичные стоимости и далее – градиент целевой функции. Тем самым учитывается взаимосвязь элементов проектной линии в насыпях и выемках, которые сооружаются совместно. Именно эта взаимосвязь не позволяет использовать динамическое программирование, но учитывается в математической модели при использовании нелинейного программирования.

В математической модели учтены и затраты на искусственные сооружения (при известных зависимостях их стоимостей от рабочих отметок). Эти зависимости уточняются в процессе проектирования так же, как и типы сооружений. При этом неизбежно многократное повторение расчетов при уточнении параметров целевой функции.

Целесообразность включения в целевую функцию при проектировании продольного профиля железных дорог эксплуатационных затрат по передвижению поездов или автомобилей сомнительна по следующим причинам:

- эти затраты зависят от размеров движения, прогнозировать которые на расчетный период эксплуатации в условиях нестабильной экономики не представляется возможным;

- использование моделей целевой функции с включением в нее данного вида затрат, вычисляемых по равновесным скоростям движения, показало, что они дают изменения проектной линии в пределах 0.2 м. При вариациях проектной линии в пределах 0.2 м изменения этого вида затрат находятся в пределах точности их расчета.

Полученная в результате оптимизации проектная линия не удовлетворяет ограничениям по минимальной длине элемента. При ее преобразовании к окончательному виду возможны отклонения, которые при действующих нормах проектирования железных дорог не превышают 0.4 м [10]. Это преобразование в заданной полосе отклонений с шагом 0.02 м выполняется с помощью алгоритма динамического программирования [10]. Целевая функция при этом соответствует объемам земляных работ.

Полученная в результате оптимизации ломаная линия нужна только как начальное приближение. И все проведенные расчеты были нужны только для установления числа элементов (размерность задачи) и построения начального приближения для последнего этапа оптимизации с использованием алгоритма нелинейного программирования.

Если речь идет о проектировании продольного профиля для сравнения вариантов плана трассы, то это сравнение может выполняться с использованием уже полученных результатов. Для получения окончательного варианта проектной линии проводится еще

один этап расчетов. На этом этапе при проектировании железных дорог новыми переменными являются проектные отметки переломов проектной линии, через которые, в силу линейности элементов, легко вычисляются отметки во всех точках перелома профиля земли (старые переменные). Новых переменных примерно на порядок меньше, чем старых. Практически используются те же программы оптимизации, добавлен только пересчет производных целевой функции по новым переменным через производные по старым переменным с поправками на вертикальные кривые.

Применительно к проектированию автодорог полученная ломаная линия преобразуется в параболический сплайн. Рассмотрение алгоритма такого преобразования и последующей оптимизации параметров сплайна при известном числе его элементов является предметом отдельной статьи.

### Выводы

Усовершенствованные математические модели и новый алгоритм оптимизации позволяют решать задачу комплексно с использованием иерархии математических моделей оптимизации при наличии данных различной полноты и детальности. Новые модели и алгоритм совместного проектирования продольного и поперечных профилей являются основой соответствующей САПР нового поколения. Они могут использоваться как для проектирования реальных объектов, так и в исследовательских целях.

Расчеты на персональном компьютере с тактовой частотой 2 ГГц и ОЗУ 512 Мб позволили сделать следующие выводы

1. Время счета при длине проектируемого объекта 25-30 км составляет 2-3 мин, при последующих расчетах существенно меньше, что вполне приемлемо, тем более что на более мощных компьютерах вместо минут время счета составляет секунды.
2. Наибольшее влияние на результат оказывают данные по грунтам и соответствующие единичные стоимости по земляным работам.
3. Нельзя пренебречь влиянием затрат на искусственные сооружения.
4. Уточнение типовых конструкций поперечных профилей земляного полотна, а также уточнение типов искусственных сооружений не столь существенно, как изменение данных по грунтам и единичным стоимостям.

Переход к новой технологии компьютерного проектирования трасс линейных сооружений с применением методов оптимизации и проектирующих программ связан с преодолением существенных трудностей организационного порядка. Однако в будущем этот переход к интеллектуальным системам неизбежен.

### Литература:

1. Shafahi Yousef, Shahbazi M.J. Optimum railway alignment [http://www.uic.org/cdrom/2001/wcrr2001/pdf/sp/2\\_1\\_1/210.pdf](http://www.uic.org/cdrom/2001/wcrr2001/pdf/sp/2_1_1/210.pdf)
2. Bentley Rail Track. <http://www.bentley.com/>
3. CARD/1. URL: <http://www.card-1.com/en/home/>
4. Topomatic Robur. URL: <http://www.topomatic.ru>
5. Ляховский В.Н., Михалевич В.С., Быков В.И. Определение на ЭВМ наивыгодней-

шего положения красной линии продольного профиля на вольном ходу // Транспортное строительство. 1962. № 4. С. 41–43.

6. Михалевич В.С., Шор Н.З. Математические основы решения задачи выбора оптимального очертания продольного профиля // Труды Всесоюзного НИИ транспортного строительства. 1964. Вып. 51. С. 14–27.

7. Космин В.В., Струченков В.И., Фрадков Е.Б. Проектирование продольного профиля дороги на ЭВМ // Транспортное строительство. 1971. № 4.

8. Использование математических методов оптимизации и ЭВМ при проектировании продольного профиля железных дорог / под ред. Б.К. Малявского // Труды Всесоюзного НИИ транспортного строительства. М.: Транспорт, 1977. Вып. 101. 169 с.

9. Струченков В.И., Карих Ю.С., Шварц П.С. Математические методы оптимизации в системе автоматизированного проектирования дорог // Автомобильные дороги. 1980. № 12. С. 23–24.

10. Струченков В.И. Методы оптимизации трасс в САПР линейных сооружений. М: СолонПресс, 2014. 272 с.

11. Struchenkov V.I. Mathematical Models and Optimization in Line Structure Routing: Survey and Advanced Results // International Journal Communications, Network and System Sciences. Special Issue: Models and Algorithms for Application. 2012. № 5. P. 631–637.

12. Численные методы условной оптимизации / под ред. Ф. Гилл и У. Мюррей: пер. с англ. М.: Мир. 1977. 296 с.

13. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: пер. с англ. М: Мир, 1985. 509 с.

14. Аоки М. Введение в методы оптимизации: пер. с англ. М.: Наука, 1977. 334 с.

УДК 336.143

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ  
ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ОРГАНАХ  
МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ**

**О.А. Рябков**, д. э. н., депутат муниципального округа «Восточное Измайлово»  
города Москвы

*Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия*  
*@Автор для переписки, e-mail: hermes-centre@yandex.ru*

В статье проводится анализ факторов, влияющих на формирование основных характеристик бюджета муниципального округа города Москвы. Определены проблемы и вопросы, возникающие при формировании и исполнении бюджета внутригородского муниципального образования. Определены пути решения выявленных проблем, которые позволили бы органам местного самоуправления оперативно улучшать условия проживания населения муниципального округа.

**Ключевые слова:** муниципальный округ, формирование бюджета, местное самоуправление, норматив отчислений, налог на доходы физических лиц.

**FEATURES OF THE FINANCIAL PLANNING TECHNOLOGY  
IN LOCAL GOVERNMENT**

**O.A. Ryabkov**

*Moscow Technological University, Moscow, 119454 Russia*  
*@Corresponding author e-mail: hermes-centre@yandex.ru*

The article analyzes the characteristics that affect the formation of the revenue and expenditure sides of the budget of intracity municipal unions of Moscow. Shows the legal basis upon which the provisions on the formation and spending of budgetary funds by local authorities. The problems arising from the formation and execution of budgets of intracity municipal unions of Moscow. The evidence base for the considered problem based real figures taken from the budget execution reports municipality "Eastern Izmailovo" in Moscow. The ways of solving identified problems, which would increase the efficiency of the local governments. The article may be useful in the practical work of government bodies, as well as of particular interest for the control of the executive power. Without addressing these problems, the path of development of local self-government becomes a dead end, the inability to influence the improvement of the situation in the district generates apathy and indifference as the population, and among municipal employees.

**Keywords:** municipality, budgeting, local government, standard deductions, tax on personal income.

Функционирование органов местного самоуправления в городе Москве обладает особенностями, которые обусловлены особым статусом города Москвы, как субъекта Российской Федерации, а именно – статусом города федерального значения, определенным Федеральным законом от 06.10.2003 № 131–ФЗ [1]. В соответствии с пунктом 3 статьи 79 вышеуказанного Закона «источники доходов местных бюджетов внутригородских муниципальных образований городов федерального значения определяются законами субъектов Российской Федерации – городов федерального значения, исходя из необходимости сохранения единства городского хозяйства». Во внутригородских муниципальных образованиях города Москвы местное самоуправление в своей деятельности руководствуется положениями Закона города Москвы от 06.11.2002 № 56 [2] и Устава муниципального округа.

Функции органа местного самоуправления выполняет Совет депутатов муниципального округа, состав которого сформирован из депутатов, избранных жителями округа сроком на 5 лет, и его исполнительно-распорядительный орган – аппарат Совета депутатов муниципального округа.

Рассмотрим проблемы и вопросы, возникающие при формировании и исполнении бюджета внутригородского муниципального образования, на примере муниципального округа «Восточное Измайлово».

Согласно статье 61 Устава муниципального округа «Восточное Измайлово» [3], доходы местного бюджета формируются в соответствии с Бюджетным кодексом, законодательством о налогах, сборах и иных обязательных платежах и правовыми актами города Москвы, принятыми с учетом особенностей, предусмотренных федеральными законами для городов федерального значения.

В доходы местного бюджета поступают отдельные виды налоговых доходов и/или отчисления от определенных налоговых доходов бюджета города Москвы. По Положению о бюджетном процессе в муниципальном округе «Восточное Измайлово» [4], источники формирования доходов бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» и нормативы отчислений от федеральных, региональных, местных налогов и сборов в местный бюджет определяются законом города Москвы о бюджете данного города на соответствующий финансовый год и плановый период. Источником доходов местного бюджета являются также субвенции, субсидии и иные межбюджетные трансферты, устанавливаемые законами города Москвы. Этот вид доходов имеет целевое назначение, и за их счет возможно исполнение расходных обязательств, возникающих только при осуществлении соответствующих полномочий. Неиспользованные суммы таких межбюджетных трансфертов подлежат возврату в бюджет города Москвы в полном объеме.

Следовательно, расходы и доходы, связанные с исполнением переданных полномочий, всегда равны между собой, поэтому предметом анализа настоящей работы являются только налоговые поступления в доходную часть местного бюджета.

Рассмотрим, как формируется доход местного бюджета, полученный за счет налоговых поступлений, на примере бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» за 2015 год. Единственный вид налоговых поступлений, отчисления с которых предусмотрены в местный бюджет – это налог на доходы физических лиц (НДФЛ). Для оценки общей суммы поступлений НДФЛ за год по конкретным округам города Москвы используется прогноз Департамента экономического развития города Москвы. Как следует из Приложения 2 к Пояснительной записке Департамента финансов города Москвы

проекта Закона № 54 от 19.11.2014 г. «О бюджете города Москвы на 2015 год и плановый период 2016 и 2017 годов» [5], сумма поступлений НДФЛ в 2015 г. по муниципальному округу (МО) «Восточное Измайлово» должна была составить 1571119.7 тыс. руб. Расчет минимальных расходов бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» на 2015 год осуществлялся на основании нормативов обеспечения расходных обязательств, утвержденных Законом города Москвы от 19.11.2014 № 54, приложение 13.

Расходы муниципального округа складываются из трех составляющих:

1) норматив 1 – учитывает все расходы на содержание муниципальных служащих, в том числе, на выплату заработной платы и отчислений в государственные внебюджетные фонды, материально-техническое обеспечение муниципальных служащих, исполнение основных и дополнительных государственных гарантий, предусмотренных действующим законодательством, на исполнение прочих расходных обязательств, связанных с исполнением муниципальными служащими своих обязанностей, и составил в 2015 г. по МО «Восточное Измайлово» 12 449.3 тыс. руб.;

2) норматив 2 – устанавливает расходы на обеспечение государственных гарантий, установленных для депутатов Совета депутатов на 2015 год в размере 18,2 тыс. рублей на одного депутата;

3) норматив 3 – устанавливает минимальные расходы для исполнения полномочий по решению вопросов местного значения в 2015 г. из расчета 36.0 руб. на одного жителя муниципального округа.

С учетом указанных нормативов, минимальные расходы бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» в 2015 г. должны были составить 15462.2 тыс. руб.

Далее, в расчете Департамента финансов города Москвы производится простое арифметическое действие деления суммы минимальных расходов на ожидаемую сумму поступлений НДФЛ и получается значение «норматива отчислений». На 2015 год он составил 0.9842% и является неизменным для ежедневных отчислений НДФЛ. Аналогичным образом этот норматив рассчитывается и для показателей других лет планирования бюджета. Из изложенного выше следует, что прогноз доходов местного бюджета является величиной неизменной для каждого финансового года и устанавливается Законом города Москвы на уровне, необходимом для покрытия минимальных расходов муниципального округа.

Проследим изменения прогноза доходов в динамике. Попробуем выяснить, какие факторы способны повлиять на величину прогноза доходов. В нашем распоряжении есть данные муниципального округа «Восточное Измайлово» за период с 2012 по 2017 г.г., как по уже исполненным бюджетам, так и по утвержденным бюджетам на текущий год и плановый период. В табл. 1 приводятся отдельные показатели, способные повлиять на прогноз доходов местного бюджета.

Как видно из табл. 1, корреляция прогноза по доходам местного бюджета в значительной степени наблюдается для величины норматива 1, который рассчитывается, исходя из минимальной обеспеченности местного бюджета. Существенно меньше прослеживается связь прогноза доходов с изменениями норматива 3 и количеством населения, проживающего на территории муниципального округа. А вот сравнение величин изменений прогноза доходов и «норматива отчислений» показывает почти полное отсутствие их корреляции.

Таблица 1. Показатели, влияющие на бюджет муниципального округа

| Наименование показателя              | 2012 год | 2013 год | 2014 год | 2015 год | 2016 год | 2017 год |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Население, чел.                      | 74400    | 77021    | 77105    | 77624    | 77524    | 77624    |
| Норматив 1, тыс. руб.                | 12446    | 12303    | 12935    | 12449    | 12449    | 12449    |
| Норматив 2, тыс. руб.                | 30.6     | 30.0     | 30.0     | 18.2     | 18.2     | 18.2     |
| Норматив 3, тыс. руб.                | 30.0     | 32.0     | 34.0     | 36.0     | 37.0     | 37.0     |
| Норматив отчислений, %               | 1.2276   | 0.9809   | 1.0228   | 0.9842   | 0.9332   | 1.0157   |
| План (прогноз) по доходам, тыс. руб. | 14985.00 | 15069.40 | 15917.20 | 15462.20 | 15539.80 | 15539.80 |

Интересно проследить динамику изменения «норматива отчислений», устанавливаемого для муниципального округа «Восточное Измайлово» в части сопоставления утвержденного значения норматива с прогнозируемым значением. Начиная с 2012 года, в Законах города Москвы, утверждавших бюджет города на текущий финансовый год и плановый двухлетний период, «норматив отчислений» также начали устанавливать на трехлетний срок. В табл. 2 приведены значения этого норматива. Полужирным выделены значения, утвержденные на текущий финансовый год, курсивом – прогноз на ближайшие два года.

Таблица 2. Динамика изменения «норматива отчислений»

| Год утверждения бюджета | Год исполнения бюджета |               |               |               |               |               |
|-------------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                         | 2012 год               | 2013 год      | 2014 год      | 2015 год      | 2016 год      | 2017 год      |
| 2012                    | <b>1.3252</b>          | <i>1.0615</i> | <i>0.9754</i> |               |               |               |
| 2013                    |                        | <b>0.9809</b> | <i>0.9051</i> | <i>0.8369</i> |               |               |
| 2014                    |                        |               | <b>1.0743</b> | <i>0.9899</i> | <i>0.9210</i> |               |
| 2015                    |                        |               |               | <b>0.9842</b> | <i>0.9332</i> | <i>1.0157</i> |

Очевидно (табл. 2), что утвержденные значения норматива весьма существенно отличаются от прогнозируемых величин. Корректировка порой достигает 15% от установленных значений. При сравнении нормативов отчислений, установленных в 2014 г., с нормативами, установленными годом позже, можно заметить, что норматив на 2015 год понизился, а норматив (относительно прогноза в 2014 г.) на 2016 год – увеличился.

Отсюда можно сделать следующий вывод: ежегодное изменение «норматива отчислений» имеет своей целью «подогнать» уровень доходов местного бюджета под уровень минимально необходимой величины расходных обязательств. Органы местного самоуправления пытаются повысить уровень доходов бюджета различными путями: путем увеличения численности населения муниципального округа, создавая благоприятные социально-экономические условия для проживания, либо путем увеличения налоговой базы НДФЛ, повышая привлекательность муниципального округа для бизнеса. Однако любые попытки наталкиваются на неуклонную корректировку «норматива отчислений» и приведение доходов местного бюджета в соответствие с уровнем минимально необходимой величины расходной части бюджета.

Выполненный нами анализ процесса формирования и результатов исполнения местного бюджета (на основании данных бюджета МО «Восточное Измайлово», полученных в период с 2012 по 2015 гг.) позволяет определить круг проблем и вопросов, которые необходимо решить для создания эффективного механизма взаимодействия органов мест-

ного самоуправления с населением внутригородских муниципальных образований городов федерального значения Российской Федерации. Если МО «Восточное Измайлово» отнести к некоему усредненному внутригородскому муниципальному образованию, то с большой долей вероятности можно утверждать, что выявленные проблемы будут характерны и для других округов, а пути их решения актуальны для многих внутригородских муниципальных образований города Москвы.

Одной из важнейших по значимости проблем является то, что у внутригородских муниципальных образований города Москвы существует единственный источник для пополнения доходной части бюджета за счет налоговых и неналоговых поступлений – отчисления от НДФЛ. Это серьезно сужает возможности органов местного самоуправления для влияния на величину доходов местного бюджета. В таком случае остаются два пути увеличения доходов: либо рост населения округа за счет повышения социально-экономической привлекательности района для жителей города, о чем говорилось выше, либо стимулирование руководителей предприятий и организаций округа к росту фонда оплаты труда их сотрудников, а, следовательно, и налоговой базы, путем создания в районе благоприятных условий для бизнеса. В то же время указанные меры становятся бессмысленными, так как величина отчислений от НДФЛ ежегодно меняется и определяется «нормативом отчислений», который устанавливается Законами города Москвы, а в основе его расчета, как показал анализ, лежит задача предоставить округу средства лишь для минимальной обеспеченности расходных обязательств.

С этой проблемой тесно связана и другая: прогноз налоговых поступлений от НДФЛ на очередной финансовый год, используемый при расчете «норматива отчислений», имеет высокую погрешность. В результате реальные поступления в местный бюджет могут отклоняться от прогноза на величину  $\pm 15\%$ . Это приводит к необходимости в середине финансового года прибегать к корректировке расходной части бюджета, чтобы выдерживать его сбалансированность, что, в свою очередь, приводит к ухудшению социально-экономической ситуации в округе.

Нельзя не отметить и неравномерность налоговых поступлений в бюджет в течение года. Из-за этого возникают серьезные сложности со своевременным исполнением расходных обязательств МО, что также негативно сказывается на социально-экономической обстановке и приводит к снижению эффективности использования бюджетных средств.

Кратко проанализируем расходную часть бюджета МО «Восточное Измайлово» города Москвы. Расходная часть местного бюджета формируется в жесткой привязке к части доходной. Проект местного бюджета, как правило, основывается на сбалансированном варианте, когда расходы равны доходам. С фактическими расходами бюджета дело обстоит несколько иначе, и в течение года бюджет приходится практически всегда корректировать, «подстраивать» под складывающуюся ситуацию.

Как показал анализ, в январе бюджет обычно профицитный, но, уже начиная со второго месяца года, в большинстве случаев, величина расходов превышает налоговые поступления в бюджет. Дефицит местного бюджета может достигать 2.5 млн. рублей. Эта тенденция тоже достаточно легко объяснима. В апреле заканчивается срок подачи налоговых деклараций гражданами и, соответственно, увеличиваются налоговые поступления за счет самообложения. Такая ситуация продолжается всю первую половину года. К апрелю многие предприятия заканчивают подведение итогов прошедшего финансового

года и выплачивают итоговые (годовые) премии сотрудникам и дивиденды акционерам, налоги с которых также пополняют бюджет. Июнь–июль традиционно считаются месяцами отпусков. Выплаты отпускных существенно увеличивают налоговую базу НДФЛ, и баланс наступает только к сентябрю–октябрю. В конце года (декабрь) бюджет становится профицитным. Это объясняется тем, что многие предприятия стремятся «закрыть» финансовый год до окончания года календарного и стараются перечислить все налоги до 31 декабря.

Параллельно наблюдается резкий рост расходов в муниципальных округах. Весьма невысокий уровень налоговых поступлений в бюджет в январе компенсируется двукратными, по сравнению со среднемесячными значениями, поступлениями в декабре. При этом часть средств переходит на январь следующего года, и профицит бюджета в январе следующего года сохраняется.

Вместе с тем выявлены некоторые аномалии. Так, в феврале–марте 2012 г. был отмечен резкий рост расходов, связанный с расходами на проведение выборов в органы местного самоуправления города Москвы, прошедших в марте 2012 г. Нехарактерным выглядел также год 2013, когда в связи с предстоящей реорганизацией и передачей отдельных полномочий городу Москве в декабре произошло сокращение должности и выход на пенсию сотрудника с выплатой всех причитающихся в таких случаях компенсаций. Эти дополнительные расходы не были предусмотрены в начале года и привели к образованию дефицитного бюджета.

Выводы в такой ситуации оказываются неутешительными. Чтобы справиться с дефицитом бюджета, образующимся в первой половине года, необходимо на начало финансового года либо иметь свободный остаток, способный покрыть возникающий дефицит бюджета и составляющий 15-20% суммы бюджета, либо привлекать бюджетный кредит для обеспечения исполнения расходных обязательств. Средства на оплату кредита придется выкраивать из местного бюджета. Кроме того, в условиях дефицита бюджета приходится корректировать расходную часть местного бюджета, а инструментов для этого существует не так много.

В связи с обозначенными проблемами, с которыми сталкиваются местные бюджеты внутригородских муниципальных образований, становится очевидным, что для приведения в соответствие доходных и расходных полномочий органов местной власти и обеспечения условий для развития местного самоуправления в городах федерального значения нужно создать устойчивую собственную финансовую основу местных бюджетов. Необходимо также создание законодательно закрепленных условий для обеспечения возможностей органам местного самоуправления влиять на объем поступлений в местные бюджеты. Наибольший удельный вес в структуре доходов местных бюджетов должны занимать, в первую очередь, реальные налоговые поступления, которые закреплены за местными бюджетами на долгосрочной основе, а не различного рода финансовая помощь.

Среди основополагающих принципов совершенствования финансовой основы местного самоуправления можно выделить следующие:

1) формирование местных бюджетов необходимо проводить в таких размерах, которые бы полностью удовлетворяли имеющиеся социально-экономические потребности в рамках муниципального образования, а также обеспечивали бы исполнение делегированных местным властям полномочий от вышестоящих уровней власти;

2) образование финансовой основы местных бюджетов необходимо осуществлять посредством учета не только горизонтального, но и вертикального финансового выравнивания объемов налоговых поступлений в бюджет МО;

3) необходимо выполнение принципа единства взимания и расходования налоговых поступлений для конкретного муниципального образования;

4) система местных налогов и сборов должна играть роль стимула положительных тенденций в развитии экономики и обеспечения населения конкретной территории необходимыми социальными гарантиями.

Для преодоления выявленных проблем можно предложить следующие мероприятия:

1) расширить перечень источников налоговых и неналоговых поступлений в бюджеты внутригородских муниципальных образований, прежде всего, за счет средств самообложения населения в роли дополнительного источника доходов местных бюджетов, а также отчислений от налога на недвижимость;

2) устанавливать фиксированный процент отчислений от всех источников налоговых поступлений не на один год, а хотя бы на плановый период (3 года);

3) предоставить представительным органам местного самоуправления права устанавливать дифференцированный процент отчислений в течение года в рамках установленных фиксированных значений;

4) расширить полномочия органов местного самоуправления в городе Москве, позволяющие влиять на улучшение социально-экономической ситуации в округе.

На основании проведенного анализа доходов бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» в рамках данной статьи можно сделать следующие выводы.

На протяжении 2011–2013 гг. прослеживалась тенденция роста доходов (как утвержденных, так и исполненных). Наибольший объем исполненных доходов бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» отмечался в 2012 г. Данный факт связан с тем, что в этот период на территории внутригородского муниципального образования осуществлялась избирательная кампания, на проведение которой были предоставлены необходимые средства из бюджета города Москвы. Динамика изменения налоговых доходов бюджета внутригородского МО «Восточное Измайлово» характеризовалась неоднородностью, т.е. на протяжении анализируемого периода отмечалось и их увеличение (2012 г.), и их сокращение (2013 г.).

Анализ предполагаемых доходов бюджета муниципального округа «Восточное Измайлово» в 2015–2017 гг. позволил выявить следующие тенденции: - доходы бюджета будут формироваться за счет налоговых доходов и безвозмездных поступлений; - наибольшую долю в общей величине доходов будут составлять налоговые доходы; - в этот период они будут формироваться исключительно за счет отчислений от налога на доходы физических лиц, а их величина будет определяться нормативом отчислений, установленным Законом города Москвы.

В ходе рассмотрения проблем формирования доходов местных бюджетов установлено, что общей проблемой для местных бюджетов различного уровня является недостаточность собственной доходной базы данных бюджетов, которая, в свою очередь, вызвана отсутствием у органов местной власти реальных возможностей по формированию таких средств в рамках бюджета. Зачастую данная проблема обостряется тем, что органы местной власти не имеют возможности оказывать влияние на объем доходов соответ-

ствующего бюджета. В частности, такая проблема особо остро стоит перед бюджетами внутригородских муниципальных образований Москвы и Санкт-Петербурга. Другим проблемным аспектом является высокая зависимость местных бюджетов от нормативов, установленных бюджетами более высокого уровня. Это, в свою очередь, сдерживает процесс укрепления и роста собственной доходной базы местных бюджетов.

В ходе описания возможных рекомендаций по решению проблем, с которыми сталкиваются органы местного самоуправления, выделены возможные пути совершенствования финансовой основы местного самоуправления:

- создание условий для рационального использования системы самообложения населения в роли дополнительного источника доходов местных бюджетов;
- закрепление соответствующего фиксированного процента отчислений от налога на доходы физических лиц за местными бюджетами;
- расширение базы налогов (в частности, налог на недвижимость), отчисления от которых могут поступать в местный бюджет.

Без решения указанных проблем путь развития местного самоуправления становится тупиковым. Невозможность влиять на улучшение ситуации в своем муниципальном округе порождает апатию и безразличие у населения и муниципальных служащих. Органы исполнительной власти города Москвы и органы местного самоуправления внутригородских муниципальных округов должны действовать слаженно и эффективно, что позволит сделать свой город и муниципальный округ более комфортабельными и благоустроенными для проживания в нем москвичей.

### Литература:

1. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. от 29.06.2015) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Consultant.ru>document/cons\_doc\_LAW\_44571/.
2. Закон города Москвы от 06.11.2002 № 56 (ред. от 08.07.2015) «Об организации местного самоуправления в городе Москве». base.consultant.ru>Консультант Плюс>?req=doc; base=MLAW;.
3. Решение Совета депутатов муниципального округа Восточное Измайлово от 04.03.2014 № 17 «О внесении изменений и дополнений в Устав муниципального округа Восточное Измайлово».
4. Решение Совета депутатов муниципального округа Восточное Измайлово от 26.03.2013 № 25 «Об утверждении Положения о бюджетном процессе в муниципальном округе Восточное Измайлово».
5. Закон города Москвы от 19.11.2014 № 54 «О бюджете города Москвы на 2015 год и плановый период 2016 и 2017 годов». base.consultant.ru>Консультант Плюс>CGI/online.cgi?req=doc...

УДК 67.02

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»**

**М.Л. Соколова, д.т.н., профессор**

*Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия*

*@Автор для переписки, e-mail: dssml@rambler.ru*

В статье дан анализ современных проблем направления «Технология художественной обработки материалов» (ТХОМ), которое было создано в 1992 году с целью подготовки кадров, компетентных как в области дизайна материаловедения. Рассмотрены условия, в которых ведется обучение студентов в настоящее время, и перспективы деятельности выпускников. Определены учебные и научные задачи, требующие решения для успешного развития направления в будущем. Среди учебных задач выделены следующие: отбор профильных абитуриентов, подготовка студентов в процессе работы над междисциплинарными проектами, определение областей научных поисков магистров для обеспечения их профессионального роста. К научным аспектам развития направления отнесены, во-первых, вопросы адаптации современных технологий для индивидуального производства, не требующего специальных производственных условий (больших мощностей, дополнительного персонала, специальных помещений); во-вторых, проблемы, которые предстоит решать выпускникам направления ТХОМ при создании принципиально новых объектов за счет наполнения традиционных форм современным электронным содержанием («умная» электроника) или при формировании «умной», комфортной и доступной среды. Отдельно выделяются вопросы, связанные с универсальным дизайном, в котором должны быть компетентны современные выпускники направления. Предложены пути решения поставленных проблем на основе современных требований общества к науке и образованию, в частности, на основе экспертизы продуктов и сред с позиций универсального дизайна.

**Ключевые слова:** технология, художественная обработка, материал, образование, наука, универсальный дизайн.

## **MODERN PROBLEMS OF THE COURSE OF “TECHNOLOGY FOR THE DECORATIVE PROCESSING OF MATERIALS”**

**M.L. Sokolova**

*Moscow Technological University, Moscow, 119454 Russia*

*@Corresponding author e-mail: dssml@rambler.ru*

The paper analyzes development of the "Technology for the decorative processing of materials" course for students. The course was created in 1992 in order to train personnel competent both in the field of design and in that of materials science. The paper treats the conditions of teaching students in the present and the prospects of graduates' activities. On this basis, the academic and scientific problems which need to be solved for the successful future development of the course have been defined. The academic problems comprise the following points: selection of university entrants specializing in the field, training of the students in the process of working on interdisciplinary projects, determination of the spheres of scientific research for the master course students with the aim of providing their professional growth. Among the scientific aspects of the course development are considered, firstly, the problems of adaptation of modern technologies for the individual production which does not require special production conditions (great power, additional personnel, specialized spaces). Secondly, problems which the graduates of the "Technology for the decorative processing of materials" course would have to face in the process of creating fundamentally new objects by way of filling traditional forms with new electronic contents ("smart" electronics), or in the process of forming "smart", comfortable and accessible environment. Special treatment is given to the problems connected with the universal design which must also be a field of expertise for the present-day course graduates. The paper suggests ways of solving the stated problems on the basis of the modern society's demands towards science and education, in particular on the basis of expert analysis of products and environments from the positions of the universal design.

**Keywords:** technology, decorative processing, material, education, science, universal design.

### История возникновения

Направление «Технология художественной обработки материалов» (ТХОМ) было создано в 1992 г. по инициативе Заслуженного деятеля науки РФ, профессора Владимира Игоревича Куманина на базе кафедры «Металловедение» МГУПИ, которой он руководил в течение многих лет. В настоящее время кафедра называется «Компьютерный дизайн» и входит в состав Московского технологического университета.

Время создания направления обусловило задачи, которые были поставлены перед ним: подготовить специалистов, способных использовать современный научный потенциал в области получения и обработки материалов для формирования, создания комфортной – с позиции функционирования и с позиции эстетики – предметной среды обитания человека.

До создания направления ТХОМ проблемы формирования предметно-пространственной среды являлись областью деятельности дизайнеров. Однако в стандартах подготовки специалистов с высшим образованием по направлению «Дизайн» изучение материалов и технологий не является базовой составляющей, а в профессиональном цикле дисциплины, изучающие материалы и способы их обработки, входят в основном в вариативную часть. Объем, отведенный на изучение материалов и технологий, не превышает нескольких процентов. То есть изначально, на уровне стандарта закладывается неспособность дизайнера создавать предметную среду до стадии ее материального воплощения. Всё заканчивается на уровне проекта. К сожалению, при подготовке кадров в области дизайна иногда считают, что достаточно нарисовать образ, оставляя этап реализации для других специалистов. Это приводит к неполному или неверному воплощению творческого за-

мысла, а в ряде случаев отсутствие понимания проектировщиком материальной основы разрабатываемого объекта, изделия может стать источником техногенных катастроф, связанных с поломками и/или разрушением объекта, приводящим даже к гибели людей. В реальном мире необходимо знание конструкционных и функциональных свойств материалов и технологий, обеспечивающих жизнеспособность и безопасность объекта проектирования.

В последовательном, глубоком изучении материально-технической базы заключается коренное отличие между направлениями «Дизайн» и «Технология художественной обработки материалов». Наличие такой базы позволяет специалистам в области ТХОМ (в настоящее время бакалаврам и магистрам) реально (не в виртуальном, а в материальном пространстве) формировать комфортную предметно-пространственную среду вокруг человека.

ТХОМ – направление, которое формирует выпускников с компетенциями, позволяющими творчески решить проблему на основе глубоких знаний материально-технической базы [1, 2]. Это нашло отражение при формировании укрупненных групп специальностей. Направление подготовки ТХОМ было отнесено к группе Инженерное дело, что показывает понимание выпускниками проблем, стоящих перед людьми, работающими в этой сфере.

### **Развитие направления**

Направление ТХОМ за свою почти четвертьвековую историю прошло большой путь от специальности, открытой в порядке эксперимента, до направления, в рамках которого успешно ведут подготовку бакалавров и магистров более тридцати вузов России в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург, Иркутск, Томск, Ижевск, Кострома, Архангельск и др.

Анализируя развитие направления ТХОМ, целесообразно выделить два взаимопроницающих аспекта – учебный и научный.

В рамках учебного направления сегодня происходит подготовка бакалавров и магистров, обладающих знаниями, умениями и навыками, позволяющими им выполнять сложные работы и проекты по созданию реальных объектов материального мира с использованием виртуальных пространств.

Профессорско-преподавательский состав направления из разных вузов и городов регулярно (в соответствии с выходом новых стандартов обучения) выпускает циклы учебников по основным дисциплинам ТХОМ.

Выпускники направления находят себя в науке, работая на стыке таких направлений, как дизайн и технология, выбирая для себя определенный материал (а иногда и несколько): металлы, керамика, древесина и т.д. Владея формообразующими и декорирующими технологиями, они совершенствуют известные материалы и находят новые технологические решения для создания функциональных и эстетических изделий, которые делают наш материальный мир – среду обитания – более комфортным для людей с разными возможностями.

Систематизировать накопленные знания во многом удалось, создав важный, можно сказать базовый труд – толковый словарь направления ТХОМ [3]. В нем естественным образом нашли отражения термины и понятия, обеспечивающие развитие научных основ ТХОМ. Направление ТХОМ растет и расширяется, взаимодействуя с дизайном, с

компьютерным проектированием, проникая в микро- и макрообъекты [4–7]. Вместе с тем мир не остается постоянным: даже за те десятилетия, пока существует направление, произошли существенные изменения в жизни людей, и перед направлением встали новые проблемы.

### **Проблемы направления ТХОМ и пути их решения**

Многие задачи, которые были поставлены в момент появления и становления направления ТХОМ, за прошедшие годы были решены. В рамках направления ТХОМ были подготовлены специалисты, которые работали в области конверсии, занимались восстановлением старинных технологий, велась подготовка специалистов для создания своего собственного бизнеса. Но встали новые проблемы, продиктованные во многом особенностями жизни общества на современном этапе. Состояние мира сегодня – это мгновенный обмен информацией, быстрое получение знаний о разных культурах, разных природных системах без длительных, трудных путешествий; экономический кризис и конец общества потребления; формирование поколения, отказывающегося иметь собственность; распространение экологических принципов и многое другое.

Особенности развития цивилизации на данном этапе накладываются на технологический и технический взрыв, который стер границы между реальным и виртуальным мирами. Грань между «разработано» и «создано» становится все тоньше, и в связи с этим растет роль материалов и технологий, которые связывают эти миры. Таким образом, главная задача направления ТХОМ сегодня – обеспечение материальной и технологической реализации проектов, в том числе компьютерных.

### **Учебное направление ТХОМ**

При анализе проблем, возникающих в процессе подготовки кадров по направлению ТХОМ, целесообразно выделить три этапа деятельности:

- 1) отбор абитуриентов;
- 2) работа со студентами;
- 3) помощь выпускникам.

*Отбор абитуриентов.* Проблема на этом этапе заключается в частой дезориентации абитуриентов и их родителей в том, что такое «Технология художественной обработки материалов». Направление ТХОМ – синтетическое направление, выросшее на стыке наук и искусств, и его нельзя лишать ни одной из сторон. Более того, в настоящее время, в условиях интенсивного развития биологии и медицины, необходимо вводить в программы обучения студентов по направлению ТХОМ основы медицинских (в том числе, психологических), биологических знаний, чтобы понятия «комфортная среда обитания», «экологичность проекта», «универсальный дизайн» опирались на четкие медико-биологические параметры и критерии, связанные с человеческим организмом и с окружающей нас природой.

Таким образом, одной из проблем учебного направления ТХОМ является расширение областей знаний, необходимых для изучения, и донесение этого понимания до абитуриентов и, позднее, до студентов, для правильной их ориентации в профессии.

*Процесс обучения.* Сегодня в соответствии с Государственными стандартами выс-

шей школы мы должны не преподавать студентам дисциплины, а развивать в наших учениках способность быть компетентными. Эта проблема не только ТХОМ, но и других направлений. Учитывая, однако, что наше направление является междисциплинарным, путь развития ТХОМ – междисциплинарные проекты. Проектная деятельность должна обеспечить выпускников набором компетенций: понимание искусства, навыки компьютерного проектирования, умение создавать объекты материального мира и наличие представлений о биологических особенностях человеческого организма в качестве критериев правильности найденных решений.

*Выпускники направления в науке.* Магистратура для многих бакалавров необходимая часть образования – иначе на ряд должностей они не могут претендовать (проблема квалификационных профилей профессий), и одновременно первая научная степень. Это снова проблема синтеза, и преподаватели, определяя профили магистратуры, должны быть готовы формировать в своих выпускниках свободное владение узкой профессией и одновременно широким охватом областей труда и сфер научной деятельности, в которых могут понадобиться полученные в рамках направления ТХОМ знания и умения, сформированные компетенции.

### Научное направление ТХОМ

В настоящее время, наряду с глобальными проектами, в которых работают ученые многих стран и создаются аппараты для научных исследований, размеры и мощность которых были недоступны ранее (межпланетные станции, ускорители частиц и др.), активно развиваются научные направления, не требующие таких ресурсов, но позволяющие повысить качество жизни людей. Новые технологии и материалы входят в дом, делая его «умным», удобным, универсальным, экологичным, эргономичным и т.д. Уходит громоздкость оборудования, повышается его удобство, доступность для людей с разными возможностями. Проектирование и формирование предметной среды все больше строятся на принципах универсального дизайна, которые заключаются в обеспечении равных условий и возможностей для людей различных социальных, возрастных, гендерных групп; для людей с ограниченной подвижностью, с разными уровнями сенсорного восприятия и т.д.

Во многом эти тенденции в работе дизайнера, технолога обеспечиваются развитием компьютерной техники. Работа в одиночку (малочисленной группой), индивидуальное творчество, но не с карандашом и ручкой, а с экраном мощной современной техники, обладающей огромным запасом памяти, хорошим быстродействием и способностью выйти на связь почти в любой точке мира. Или работа с коллективом, но в удаленной форме. И в таких условиях перед наукой в области ТХОМ, наряду с решением уже поставленных задач (с выводом имеющихся решений на новый уровень техники и технологий или с «доставкой» результатов в новые области деятельности человека), можно выделить еще несколько проблем.

- Первая. Материалы, как способ перехода от задуманного проекта к реальному изделию. Знание всех возможностей материалов и технологий, применение новых сочетаний свойств материалов, разработка новых технологий дают художнику свободу творчества не только в виртуальном мире, но и в реальном.
- Вторая проблема – «приручение» материалов и технологий. Адаптация их для

дома, для малых фирм, для использования в не всегда приспособленных к производству условиях. Обеспечение доступности, универсальности не только жизненной среды, но и технологий для людей с разными (иногда ограниченными) возможностями. Повсеместное внедрение принципов универсального дизайна.

- Третья – сочетание традиционных, веками отточенных форм (эстетических норм) с современным содержанием. От ювелирных изделий (носимая электроника) до всей огромной среды обитания, формирование «умной», доступной, универсальной среды. Обеспечение всех групп изделий технологиями и материалами.

- Четвертая, на стыке с дизайном – работа в области интерфейса в широком смысле этого слова, разработка материалов и технологий, облегчающих взаимодействие реального и виртуального миров. Это специальные программы компьютерного проектирования объектов; программы управления станками и роботизированными комплексами, обеспечивающие создание спроектированных объектов в реальном мире (связь между понятиями «разработка» и «создание», о которой говорилось выше). Сюда относятся также программы, позволяющие вести опыты и делать ошибки не в реальном мире с большими затратами ресурсов, а в форме виртуальных экспериментов. Технологии и материалы, обеспечивающие работу таких интерфейсов, «мостик» между мирами: «разработано – виртуальный мир» и «создано – реальный мир». Можно предложить и другие задачи в рамках поставленной проблемы, но большинство из них будут касаться точки перехода, места контакта миров реального и виртуального.

### Критерии достижения цели

Принципиально важным является не только наметить проблемы и указать пути их решения, но и определить критерии, индикаторы достижения поставленной цели. Создавая предметно-пространственную среду, направление ТХОМ способствует развитию общества, как в материальном, так и в духовном аспекте. Более того, в зависимости от способов взаимодействия с обществом – обслуживание общества потребления или создание и улучшение условий жизни – направление ТХОМ выполняет совершенно определенные социальные функции.

В эпоху господства ремесленного дизайна у процесса создания и улучшения каждого конкретного изделия было время. Ремесленный дизайн – процесс медленный, произведенная вещь долго использовалась, порой передавалась из поколения в поколение, постепенно улучшалась. Ремесленник был в непосредственном контакте с потребителем, сам часто являлся потребителем и имел возможность постоянно учитывать пожелания пользователей. К изделию долго привыкали, оно постепенно становилось эстетической нормой.

Времена менялись, эпоха промышленного, а затем индустриального дизайна задала другие темпы проектирования и создания изделий. Скорость появления новой вещи и выход ее к потребителю сократился порой до нескольких дней. В связи с этим выверять качества изделия стало необходимо очень быстро (производство не должно простаивать, конкуренция, прибыль и т.д.). Итак, результат дизайна – изделие – необходимо выпустить в жизнь. Рынок, как глобальный регулятор, может показать правильность принятого решения. Но изготовление вещи по дизайн-проекту и вывод ее на рынок – это дорого-

стоящий процесс – ресурсы, материалы, технологии, кадры, реклама и т.д. Другой путь – экспертиза. Вопросы экспертизы, создания систем индикаторов уровня достижения цели, до настоящего времени решаются каждый раз по-разному и, безусловно, требуют оптимизации.

Направление ТХОМ отвечает за создание нового, и не может не участвовать в решении задач по определению уровня решения поставленной проблемы, выработки критериев достижения новых качеств. Отдельно следует отметить необходимость оценки изделия, всей окружающей среды с позиций универсального дизайна, возможности использования предметно-пространственной среды людьми с разными возможностями, привычками, социальными нормами и т.д.

Таким образом, в новых условиях XXI века перед направлением ТХОМ и в учебном, и в научном аспектах стоят проблемы, пути решения которых определяет вектор развития направления.

### Литература:

1. Куманин В.И., Лобацкая Р.М., Черных М.М. и др. Дизайн. История, современность, перспективы / под общ. ред. И.В. Голубятникова. М.: Мир энциклопедий Аванта+; Астрель, 2011. 224 с.
2. Куманин В.И. Эволюция дизайна в России в последнее столетие // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2013. № 1. С. 29–30.
3. Дизайн. Материалы. Технологии: Энциклопедический словарь / под ред. В.И. Куманина, М.С. Кухта. Томск: ТПУ, 2011. 320 с.
4. Куманин А.В., Куманин В.И. Диалог о дизайне. Томск: STT, 2012. 120 с.
5. Мамедова И.Ю., Куманин В.И., Бондарева Н.С. Новые пути выявления объектов декорирования в дизайне // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2015. № 1. С. 5–8.
6. Соколова М.Л., Семенихин Д.В. Проектирование 3d-моделей ветвящихся узоров // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2015. № 1. С. 13–15.
7. Куманин В.И. Антидизайн // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2015. № 2. С. 5–6.

УДК 001.891: 504 (470.21)

## **КАК ОБЕСПЕЧИТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ И ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОСВОЕНИИ КОСМОСА?**

**С.М. Сухорукова<sup>@</sup>**, д.э.н. профессор

**А.М. Погорелый**, к.т.н., доцент

*Кафедра экологической и промышленной безопасности,  
Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий),  
Москва, 119571 Россия*

*<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: Sukhorukova@inbox.ru*

Используя технологические достижения, человек приступил к освоению космоса с целью добычи сырья на других планетах и перемещения туда предприятий для его переработки. Авторы статьи высказывают свое мнение о неэффективности «космической» экономики с учетом ее затрат и экологических последствий. Учитывая системную целостность космоса, предлагается строить политику хозяйственного природопользования на принципе коэволюционного развития. Для этого необходимо интегрировать экономическую теорию с науками, изучающими космос, с учетом соразвития его компонентов. Пока этого не произошло, эффективность «космической» экономики доказывает либерально-рыночная теория экономики, которая при использовании ресурсов биосферы не учитывает требований ее системной целостности как космопланетарного феномена и тем самым обусловила экологический кризис на Земле.

**Ключевые слова:** «космическая экономика», экологическая безопасность, промышленная безопасность, системный подход, принцип коэволюции, природный суверенитет.

## **HOW TO ENSURE ENVIRONMENTAL AND INDUSTRIAL SAFETY IN SPACE EXPLORATION?**

**S.M. Sukhorukova<sup>@</sup>**,

**A.M. Pogorelyi**

*Moscow Technological University (Institute of Fine Chemical Technologies),  
Moscow, 119571, Russia*

*<sup>@</sup>Corresponding author e-mail: Sukhorukova@inbox.ru*

Using the technological advances, people began space exploration with the purpose of extraction of raw materials on other planets and move there enterprises for its processing. The authors of the article express their opinion on the ineffectiveness of the "space" economy taking into account its costs and environmental impacts. Taking into account the system integrity

space, it is proposed to build the economic policy of nature management on the principle of co-evolutional development. You have to integrate economic theory with the science that studies the space, given the development of its components. But until that happens, the effectiveness of "space" economy proves the liberal market theory of Economics that when using the resources of the biosphere did not take into account the requirements of its system integrity as cosmo-planetary phenomenon and have caused ecological crisis on Earth.

**Keywords:** "space economy", environmental safety, industrial safety, system approach, the principle of co-evolution, natural sovereignty.

Человечество вышло на такой уровень технологических достижений в промышленном производстве, который открыл ему большие возможности для дальнейшего развития. Но при каких условиях эти возможности будут реализованы? Ответ имеет существенное значение, поскольку в середине прошлого века именно с внедрением технологических достижений было связано появление экологических проблем, которые не решены до сих пор и которые до настоящего времени продолжают угрожать жизни на Земле. Если до начала XX века они носили локальный масштаб, в XX веке – глобальный, то в XXI веке возможен и космический. Экологические проблемы без экологизации экономических институтов, регулирующих использование технологических достижений, предупредить не удастся. Имеются в виду такие экономические институты, как налоги, штрафы, платежи и цены. Так, в XX веке в условиях Научно-технической революции стали расти масштабы экологических проблем, потому что использовались те неэкологизированные экономические институты, которые были сформированы на предыдущей стадии технологического развития. С изменением масштабов производства, когда по экспоненте стали расти объемы ресурсов, изымаемых из биосферы, уже требовались иные институты, способные предупредить экологическую деградацию биосферы [1]. Опираясь на институты, созданные либерально-рыночной теорией экономики, не допускающей привлечения естественных знаний, транснациональные компании (ТНК) начали перебазировать энерго-, водо-, ресурсоемкие стадии промышленного производства на территории других стран, наращивая их природопотребление. В итоге это привело к росту добычи ресурсов на планете, что не могло не вызвать роста глобальных эколого-экономических издержек производства и падения экономической эффективности использования биосферы. Таким образом, отсутствие институтов, учитывающих экологические проблемы глобального уровня, вызвало рост негативных и экологических, и экономических последствий для всего мирового сообщества.

Связь биосферы и экономики была доказано академиком В.И. Вернадским почти столет назад. Согласно его работам [2, сс. 289–296; 445–465; 555–603], состояние биосферы определяется круговоротом веществ, осуществляемым *живым веществом*. Если этот круговорот нарушить, биосфера теряет жизнепригодность, а хозяйственная деятельность теряет экономическую эффективность. Поэтому человек при использовании биосферы должен чувствовать свою ответственность за ее сохранение. В.И. Вернадский считал, что в XX веке «человек впервые реально понял, что он житель планеты и должен мыслить и действовать в новом аспекте. Не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но и в *планетном аспекте*» [3, с. 28]. Последователи В.И. Вернадского продолжали доказывать, что хозяйственное природопользование должно

быть согласовано с требованием воспроизводства биосферы. В.Г. Горшков в своей работе «Физические и биологические основы устойчивости жизни» показал [4, с. 135–138], что, вследствие растущего изъятия ресурсов, биосфера уже теряет способность восстанавливаться в том качестве, которое необходимо для жизни человека. «Биосферный» подход к безопасному использованию природных ресурсов вошел в учебное пособие, где разработаны эколого-экономические принципы его реализации [5, с. 325–328]. Но этого недостаточно. Не надо забывать, что В.И. Вернадский, создавая свое учение о биосфере, исходил из «всюдности жизни», т.е. ее присутствия в космическом пространстве – едином и сгармонизированном. Он писал: «Каждому известны выражения: Космос и Мировая гармония. В настоящее время мы соединяем с этими представлениями идею о закономерности всех процессов по гармонизации космоса, подлежащих нашему изучению» [3, с. 204].

Однако научное наследие великого ученого игнорируется. Дело в том, что сегодня предполагается добыча природных ресурсов на других планетах и перемещение туда предприятий для их переработки, исходя из того, что любой объект Солнечной системы (от малого астероида до Солнца) может служить (без всяких ограничений) для ресурсного обеспечения нашей экономики [6]. С целью такого хозяйственного освоения космоса формируется специальная отрасль «космическая экономика», построенная на использовании соответствующих технологий. Например, технологий, с помощью которых можно добывать полезные ископаемые на крупных планетах с очень сильной гравитацией, в частности, на Юпитере и Сатурне. При этом не может не возникнуть вопрос: добывать ресурсы в космосе – это экономически выгодно, экологически безопасно?

В последние годы регулярно проходят международные конференции под названием «Энергия будущего». Так, в ноябре 2016 г. в Сиднее прошла встреча, на которой обсуждались, в том числе, и проблемы добычи углеводородов за пределами Земли. Этот разговор будет продолжен на Форуме «Энергия будущего» в 2017 г. в Астане. Устраиваются и международные выставки с обсуждением технологических достижений в этой области [7]. На форумах и выставках рассматриваются конкретные бизнес-планы горнодобывающих компаний, между которыми уже разгорелась конкурентная борьба за право добычи и транспортировки ресурсов [8]. В Российской Федерации 4 марта 2016 г. прошел Круглый стол, организованный Высшей школой экономики совместно с Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения и Фондом «Сколково», на тему «Совершенствование управления космической деятельностью: мировой опыт и перспективы для РФ». Обсуждалось, как обеспечить России конкурентоспособность на мировом рынке космических услуг [9]. На конференции не рассматривался вопрос об экологической опасности хозяйственной деятельности, выходящей за пределы Земли. При этом еще с советских времен известно, что для такой науки, как космическая микробиология, предметом изучения является вопрос заноса земных микроорганизмов не только на другие планеты, но и оттуда на Землю. Последствия этого для нашей биосферы, как биогеохимического организма, могут быть катастрофичны. Обсуждение такого вопроса было бы связано с темой «жизнь и космос».

Известно, что западно-европейская официальная наука долго не была озадачена рассматриваемой темой в силу исторической традиции, которая сформировалась в эпоху, когда происходило ее становление. Когда человек вышел в космос и его деятельность де-факто приобрела космическую размерность, ученым пришлось обратиться к указан-

ной теме. Что касается отечественной науки, то в России она интересовала ученых еще с конца XIX века, когда сформировалось направление, получившее название «русский космизм» [5, с. 72–95]. Как свидетельствуют работы В.И. Вернадского, а также С.А. Подолинского, С.Н. Булгакова, Н.А. Бердяева, К.Э. Циолковского, А.Л. Чижевского, Е.И. и Н.К. Рерихов и др., представители данного направления считали, что деятельность человека обладает космической значимостью. Представители «русского космизма» исходили из существования закона Единства космоса. К.Э. Циолковский, создавая теорию ракетостроения с целью полета на другие планеты, в своих работах опирался на концепцию «монизма» [10, с. 276–300]. А.Л. Чижевский, развивая идею о сопряженности человека с Космосом, стал основателем науки гелиобиологии [11, с. 60–139] и на примере солнечно-биосферных связей показал роль космического фактора в социальной и хозяйственной деятельности человека [12]. Согласованности хозяйственной деятельности с законами космопланетарного уровня уделяли внимание многие «космисты», например, С.А. Подолинский, который сам факт появления прибавочного продукта связывал с солнечной энергией [13, с. 182]. Привлечение знаний из нескольких отраслей науки встречается в исследованиях всех «космистов», поскольку они считали, что только интегрированное «единое знание» поможет понять значение согласования деятельности человека с законом Единства космоса<sup>[1]</sup>.

В XXI веке в науке актуализируется проблема связи с космосом, о которой писали представители «русского космизма» [16]. Астрофизики в своих исследованиях исходят из того, что рассматривают космос как единую систему на микро-, макро-, мегауровнях [17]. Но, в таком случае, не следует ли и экономистам учитывать, что условия для жизни на Земле складывались благодаря совокупности ее связей в космосе, как единой системе, и, нарушая эту систему, мы разрушаем условия, обеспечивающие на нашей планете саму возможность хозяйственной деятельности? Это помогло бы разработать экономические институты, которые способствовали бы сохранению Земли в мегасистеме космоса, обеспечивая тем самым устойчивость ее биосферы в состоянии, отвечающем экологическим потребностям человека. Однако, либерально-рыночная теория экономики, с ее индивидуализацией экономических интересов и их краткосрочностью, в этом не нуждается. Эта экономическая теория игнорирует факт деградации биосферы Земли, несмотря на то, что эффективность ее использования падает, поскольку растут расходы на восстановление воды и воздуха до состояния, соответствующего экологическим потребностям человека.

---

<sup>[1]</sup>О законе Единства размышляли и в давние времена. Представление о нем несут дошедшие до наших дней ведические знания, согласно которым Мир возникает из единой праянергии, которая в итоге трансформации привела к образованию звезд и планет и которые в своей дальнейшей эволюции остаются частью единого Мира. В Древней Греции в VI веке до н.э. Анаксагор говорил о единой «первомассе», которая предшествовала возникновению Мира и содержала в себе «семена» всех ныне «существующих вещей», и потому они остаются едины. Пифагор назвал мироздание «космосом», т.к. по гречески «κόσμος» означает «порядок». Тема «порядка» космоса, как количественной «соразмерности» в рамках целого, получила развитие в учении Пифагора. В Древнем Китае считалось, что существует закон, согласно которому мир и человек едины. Даосизм учил, что человек должен жить, следуя Дао, говоря современным языком – направленности эволюции единого Мира. Поскольку, согласно китайской концепции «срединного человека», человек соединяет небо и землю, Чжуан-Цзы в IV веке до н.э. говорил: «Пока ты нужен земле и небу, ты есть» [14, с. 6]. О том, что и славянам в древности был известен закон Единства, свидетельствует сохранившийся Календарь «ведославных» праздников, который построен в соответствии с законом «Прави», коему подчиняется «и ход Солнца, и движение планет, и вращение Коло Сварога – звездного неба». Славяне считали, что закон Прави един для всей Вселенной и потому его следует соблюдать, ибо при его нарушении род человека приходит в упадок [15, с. 6–7].

Экономическая эффективность использования биосферы в рамках либерально-рыночной теории определяется ценами, не включающими те эколого-экономические издержки, которые возникают на глобальном уровне. В результате промышленное производство истощает биосферу, и та же экономическая теория направляет общество на получение природных ресурсов с других планет. Сторонников либерально-рыночной теории не смущает даже грандиозность затрат, что сведет к нулю экономическую эффективность внеземного природопользования. Необходимо, чтобы теория экономики начала учитывать хотя бы экологическую опасность такого природопользования. И речь идет о безопасности не только человека, но и тех форм жизни, которые могут существовать на других планетах. Мы не знаем природных условий планет, нас окружающих, но игнорируем опасность нарушения их биофизических и биохимических связей. Предупредить этот риск должны новые экономические институты, соблюдая принцип коэволюционного развития, – например, институт «природного» суверенитета любой планеты.

Еще в 1986 г. академик АН СССР Дмитрий Семенович Львов предложил термин «технологический уклад», понимая под ним совокупность технологических достижений и соответствующих ему экономических институтов. Сегодня этот термин применяют для периодизации этапов технологического развития в условиях промышленной цивилизации. Считается, что освоение космического пространства началось на пятом технологическом укладе, реализующем достижения Научно-технической революции XX века. В наши дни уже осваивается шестой технологический уклад, который характеризуется разработкой нанотехнологий и искусственного интеллекта. При этом пишут о седьмом технологическом укладе, которому должна предшествовать Научно-техническая революция с открытием новых видов энергии. Пишут, что на стадии седьмого технологического уклада будет использоваться «мысль» как вид энергии, способной воздействовать на окружающую среду. И тут возникает вопрос, что подразумевать под окружающей средой, насколько она локальна? Например, ученые-буддисты предупреждают о возможности «мысли» достичь соприкосновения со всем Космосом и потому, как они считают, необходима предварительная работа по нравственному совершенствованию ученого, дабы удалить из его мотивации агрессию и корысть. О силе мысли и необходимости ее очищения говорится и в других религиях. В наши дни феномен «мысли» начал привлекать внимание не только религиоведов, но и ученых, причем не только нейрофизиологов. Феномен «мысли» важен для экологов и экономистов при обосновании экологической безопасности научного исследования, возможности коммерциализации интеллектуального творчества, индивидуализации прав распоряжения интеллектуальной собственностью и т.д. При таком обсуждении феномена «мысли» складываются два направления. Направление, согласно которому действие «мысли» не может быть локально ограниченным, не допускает ее коммерциализации и монопольного обладания. Напротив, представители направления, согласно которому действие мысли локально ограничено, настаивают на материальном стимулировании мыслетворчества и монополизации его результата. Безусловно, каждый имеет право придерживаться той или иной концепции, но не замечать их различий нельзя, так как с этим связаны и различия в задаваемой «масштабности» новых институтов. Так вот в контексте первого направления, согласно которому действие «мысли» не является локально ограниченным, сегодня, при создании технических средств выхода в космос, потребуются космизация экономических институтов, регулирующих рабо-

ту по разработке новых промышленных технологий и их внедрения.

В заключение можно сказать следующее.

Чтобы обеспечить экологическую и промышленную безопасность при освоении космоса, необходимо учитывать его системную целостность и строить политику хозяйственного природопользования на принципе коэволюционного развития. Поэтому, рассуждая о целесообразности начинающегося хозяйственного освоения космоса, авторы стоят на позиции, согласно которой, прежде всего, требуется поиск способов использования ресурсов биосферы Земли, не истощающих ее и сохраняющих жизнепригодность для человека. Это избавит от грандиозных затрат космического «природопользования» с его экологическими рисками. Много написано об опасности загрязнения околоземного пространства, но в данной статье речь идет о «хозяйственном» освоении объектов Солнечной системы. Производство необходимой для этого космической техники и запуск ее дадут дополнительную нагрузку на биосферу, усугубив ее экологические проблемы. Чтобы предупредить их возникновение, необходимо перейти к использованию эколого-экономической теории с применением новых эколого-экономических институтов. В данной статье авторы поднимают вопрос об интеграции экономической теории с науками, изучающими космос, эволюционирующий по закону со-развития своих компонентов. В рамках такого – коэволюционного – подхода экономическая теория сможет разработать институты, которые будут способствовать сохранению жизни человека. В экономическую теорию придут нравственные понятия, такие, например, как сострадание, исключающее агрессию по отношению к жизни в любых формах ее проявления.

К сожалению, сегодня, если существует интерес к космосу, то лишь к отдельным планетам и с чисто утилитарной точки зрения: захоронения отходов, извлечения полезных ископаемых, без учета положения планет в системе единого космоса. А экономисты посвящают свои исследования рыночной конъюнктуре в связи с колебаниями цены на нефть, регулированием денежной массы, реализацией ценных бумаг и т.п. Хозяйствование, как способ космоосмысленного бытия, не принимается во внимание. Такая позиция не может обеспечить промышленную и экологическую безопасность в параметрах космоса, к освоению которого приступил человек.

### Литература:

1. Сухорукова С.М., Погорелый А.М. Почему не решаются экологические проблемы? // Вестник МИТХТ. Серия: «Социально-гуманитарные науки и экология». 2015. Т. 2. № 1. С. 46-51.
2. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 671 с.
3. Вернадский В.И. Научная мысль, как планетное явление. М.: Наука, 1994. 271 с.
4. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ. 1995. 470 с.
5. Сухорукова С.М. Эколого-экономическое направление в России (XVIII-XXI вв.). М.: Изд. дом «Орион», 2010. 336 с.
6. Хиль И. Добыча ресурсов в космосе начнется очень скоро. 09.08.2015. <https://hi.news.ru/space/dobycha>--(Дата обращения 11.01.2017)
7. Бабкин С. Как добывать полезные ископаемые в космосе? 19.11.2016 [www.](http://www.)

- lookatme.ru/mag/live/industry-research/218167-mine-the-sun. (Дата обращения 12.01.2017);
8. Снегирев Е.А. США наложили лапу на ресурсы других планет. 10.07.2015. <https://www.ridus.ru/news/204074.htm> . (Дата обращения 11.01.2017)
9. Совершенствование управления космической деятельностью: мировой опыт и перспективы для РФ. Круглый стол ВЭШ. - 2016 - <https://www.hse.ru/news/recent/76584545.html>. (Дата обращения 11.01.2017);
10. Циолковский К.Э. Грезы о Земле и Небе. Тула: Приокское книжное издательство, 1986. 448 с.
11. Ягодинский В.Н. Александр Леонидович Чижевский. М: Наука, 2005. 438 с.
12. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М.: Мысль, 1995. 768 с.
13. Чесноков В.С. Сергей Андреевич Подолинский. М.: Наука, 2006. 317 с.
14. Григорьева Т.П. Человек и мир в системе традиционных китайских учений / Проблема человека в традиционных китайских учениях. М.: Наука. Главная редакция восточной литературы, 1982. 264 с.
15. Асов А.И. Календарь русских волхвов. М.: Вече, 2008. 391 с.
16. Крылывец К.А., Дуреев С.П. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. Т. 2. № 11. С . 787-788.
17. Федоров В.К. Квантовая космогония и квантовая космология: физические и математические аспекты теоретической модели происхождения и развития Вселенной // Омский научный вестник. 2010. № 2 (90). С 243-259.