



# Физико-технические и экономические аспекты обеспечения качества изделий радиоэлектроники

**А.П. Коржавый**

*д.т.н., профессор  
Калужского  
филиала МГТУ  
им. Н.Э. Баумана*

**В.П. Марин**

*д.т.н., профессор  
МГТУ МИРЭА,  
президент отделения  
«Качество и экология  
производства  
радиоэлектронной  
техники» Академии  
проблем качества*

**В.П. Савченко**

*д.т.н., профессор,  
генеральный  
директор ОАО  
«Радиотехнический  
институт  
им. академика  
А.Л. Минца», дейст.  
член Академии  
проблем качества*

**А.В. Челенко**

*аспирант  
Калужского филиала  
МГТУ  
им. Н.Э. Баумана*

## Введение

Качество изделий радиоэлектроники всегда являлось приоритетом при разработке особо надежных специальных систем [1]. Теоретические и методологические вопросы обеспечения надежности работы изделий и систем на их основе достаточно хорошо апробированы, в том числе и для объектов, разработанных в СССР [1, 2]. Это касается не только научно-технических аспектов проблемы надежности и качества изделий и систем, но также и экономических [3]. Несмотря на несомненные достижения в области полупроводниковой техники, в подавляющем числе специальных систем по-прежнему используются вакуумные и газоразрядные приборы [4]. Наглядным подтверждением этого является, например, то, что вакуумные электронные элементы – источники электронной эмиссии – имеют существенные преимущества перед полупроводниковыми: устойчивость ко всем видам излучений, вплоть до полного разрушения эмиттирующей структуры, стабильность свойств

в диапазоне температур от  $-130^{\circ}\text{C}$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ , безынерционность, низкое энергопотребление, высокая вибро-, ударостойкость и устойчивость к акустическим воздействиям. Их конструкции разрабатываются ныне на основе нанотехнологий, в частности, на процессах самоорганизации наночастиц. К сожалению, до последнего времени в России около 90% электронной компонентной базы (ЭКБ) импортировалось от зарубежных изготовителей, в результате чего теперь разработчики и производители изделий радиоэлектроники оказались перед непреодолимыми затруднениями. Поведение партнеров по бизнесу оказалось, мягко говоря, неожиданным, потому что отечественная ЭКБ в последние 23...25 лет была практически утеряна в виду целого ряда политических и экономических причин.

Надо заметить, что в начале 2000-х годов [5] все-таки обратили внимание на сохранение технологий ЭКБ применительно к разработке и производству источников электронов (катодов и электродов) на основе многослойных и многокомпонентных материалов. Параметры источников электронов на



основе таких композиционных материалов и в настоящее время удовлетворяют всем требованиям разрабатываемых и выпускаемых отечественных сверхвысокочастотных (СВЧ) вакуумных и газоразрядных приборов (магнетроны, клистроны, разрядники и лампы высокоинтенсивного света, газовые отпаянные лазеры и др.).

Технологии изготовления композиционных катодов и электродов на основе порошков тугоплавких металлов (*W, Re, Pt* и др.) и порошкообразных оксидов, боридов (оксиды ШМ и ШЗМ, оксиды иттрия-самария, диспрозия, тантала, *YLa, LaB<sub>6</sub>* и др.) отечественного производства типов ВБКА, ТЭК9, ТЭК13, ВоИ-3, ВоД-3, ВоС-5Н не могут быть ныне реализованы, а термо-вторично-эмиссионные и вторично-эмиссионные катоды (ТВЭК, ВТЭК, ВЭК) на основе порошков благородных металлов с добавлением различных оксидов и их сложных соединений (типо в ВТЭК6, ВЭКО, ВЭК3П и т.п.) невозможно теперь выпускать, поскольку оборудования для их производства уже не существует. Частично технологии прецизионной вакуумной порошковой металлургии для изготовления электродов и композиционных изделий ЭКБ используются лишь на нескольких отечественных предприятиях, а технология инфильтрации (пропитки) металлических матриц реализована в ОАО «Биметалл» и ООО «Синтел» [6, 7].

Технологии получения источников холодной эмиссии на основе планарных многослойных структур сохранились и разрабатываются в ОАО «НИИ „Полюс“ им. М.Ф. Стельмаха» и в МГТУ им. Н.Э. Баумана [8]. Есть и другие примеры создания точек роста обеспечения качества отечественной ЭКБ в государственных учреждениях или акционерных обществах, где реализована особая структура управления наукой (национальный исследовательский университет) или производством (ОАО «Восход» – КРЛЗ, ОАО «Плутон», ЗАО «НПО „НИИТАЛ“») [9-11]. Разработку, исследование свойств и производство высококачественной ЭКБ здесь ведут в специализированных подразделениях коллективы студентов, аспирантов, молодых специалистов, возглавляемых профессионалами. Руководителями коллективов установлены тесные творческие связи с центрами коллективного пользования и учреждениями, обладающими уникальными технологиями и аналитическим оборудованием.

Цель данной работы – изложить и проанализировать основные физико-технические и экономические результаты исследований, выполненных авторами в различные годы в составе таких творческих коллективов для того, чтобы полученные результаты по обеспечению качества и надежности ЭКБ были использованы отечественными специалистами в современных изделиях радиоэлектроники.

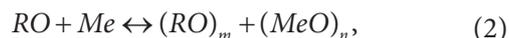
Физико-технические процессы, происходящие в многокомпонентных системах объемного и планарного типов

*Композиционные источники электронов на основе порошков металлов и оксидов*

*а) Композиции из порошков в технике получения термокатодов, электродов и вторичных эмиттеров.*

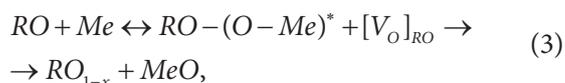
Не вдаваясь в подробное описание механизма эмиссии электронов и среды, в которой находится источник электронов в отпаянном приборе, а также в представлении способов достижения в нем требуемой температуры (косвенный накал, нагрев пропусканьем тока через тело источника электронов или разрядом и т.п.), обратим внимание на то, что между металлическими (*Me*) и оксидными (*RO*) частицами при получении и эксплуатации термокатада или электрода протекают процессы твердофазного взаимодействия. Конечными продуктами такого взаимодействия являются сложные оксиды состава  $(RO)_m(MeO)_n$ , которые не могут не влиять на эмиссионные свойства и долговечность термокатада.

Твердофазное взаимодействие представляется в виде суммарных реакций:



Термодинамика процессов типа (2) в настоящее время хорошо изучена. В то же время процессы типа (1), где *R* – это элементы IIa... IIIa подгрупп периодической системы химических элементов, а *Me* – тугоплавкие металлы, термодинамически запрещены. Существуют разные подходы к изучению таких процессов. Так, кинетику твердофазного взаимодействия в катодных материалах рассматривают с использованием методов теории фазовых превращений или теории абсолютных скоростей реакций, учитывая неравновесность системы «композиционный материал – газовая среда» и возрастание энтропии оксида при образовании в нем кислородных вакансий, с привлечением методов теории фазовых превращений.

Первую стадию взаимодействия между оксидной и металлической частицами композиционного материала можно представить в виде следующих реакций:



где символами  $[V_O]_{RO}$  и  $(O - Me)^*$  обозначены, соответственно, кислородная вакансия в решетке

оксида и активированный комплекс на границе контакта частиц  $RO$  и  $Me$ .

В твердофазных реакциях  $RO$  и  $Me$  морфология зарождения и роста новых фаз зависит от индивидуальных особенностей частиц и в общем случае (3) хорошо учитывается универсальным уравнением Аврами:

$$\xi = 1 - \exp(-At^n); A = \beta \frac{\Delta G}{kT} \exp\left(-\frac{\Delta E_{\phi}}{kT}\right), \quad (4)$$

где  $\xi$  – относительное количество образовавшейся новой фазы,  $\Delta G$  и  $\Delta E_{\phi}$  – энергия Гиббса и энергия активации реакции,  $\beta$  – константа,  $n$  – параметр, отражающий морфологию роста фаз взаимодействия. Известные [12] модельные расчеты данной величины позволяют сделать выводы о механизме превращений и особенностях образования новых фаз при взаимодействии  $RO$  и  $Me$ .

Особенности результатов межфазового взаимодействия твердых фаз в порошковых композициях при различных температурах и определяют стабильность их эмиссионных параметров и долговечность в вакуумных и газоразрядных приборах. Характер и результаты твердофазного взаимодействия наблюдаются и отслеживаются с применением методов металлографии, вторично-ионной масс-спектрографии, рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов, атомно-силовой и электронной микроскопии и других методов исследования [9, 12].

В процессе эксплуатации композиционных источников электронов со временем происходит отклонение от заданного стехиометрического состава в результате протекания твердофазного взаимодействия в системах « $RO - Me$ », и их эмиссионные свойства снижаются, эксплуатация вакуумного или газоразрядного прибора прекращается. С целью оптимизации системы « $RO - Me$ » с точки зрения обеспечения необходимой долговечности и исследуются изображения приповерхностных областей композиционных источников электронов после завершения эксплуатации в комплексе с аналогичными, полученными до постановки их в прибор.

Для этих целей эффективной оказалась растровая электронная микроскопия с использованием цветной катодолюминесценции (ЦКЛ), примененная Н.А. Томилиным [9]. На рис. 1, по сравнению с рис. 2, можно видеть, особенно на изображениях, полученных с применением ЦКЛ, что оксидная фаза композиционного источника электронов системы « $RO - Me$ » существенно изменилась как при одинаковых ШПИ, так и при различных.

Системы, в которых  $Me$  – это вольфрам ( $W$ ), наиболее хорошо изучены и массово применяются при изготовлении источников термоэмиссии.

Несомненно, процессы твердофазного взаимодействия в композиционных материалах, созданных, в том числе, и на основе  $W$ , зависят от крупности и гранулометрического состава основы [3, 6, 7, 12]. Полученные В.В. Прасицким с сотрудниками микрофотографии поверхности композиционных электродов для газоразрядных приборов (см. рис. 3) весьма убедительны.

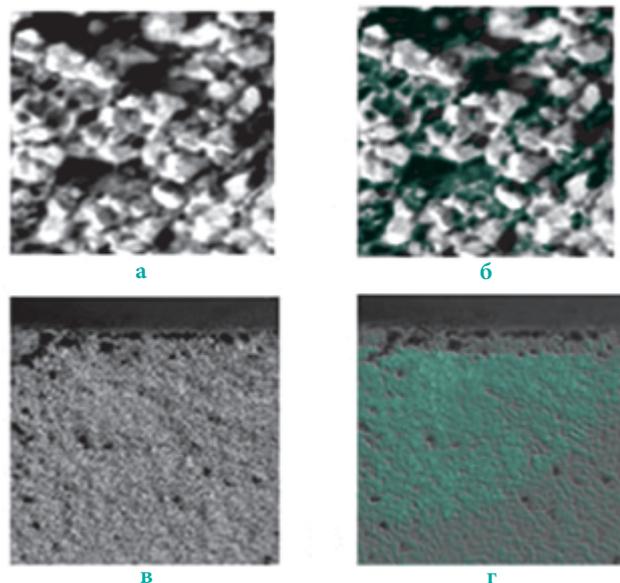


Рис. 1. Изображения приповерхностной области (поперечный излом) композиционного источника электронов системы « $RO - Me$ » после эксплуатации, полученные в стандартном режиме регистрации отраженных электронов (а, в), и композитные изображения (б, г) с использованием режима ЦКЛ. Ширина поля изображения (ШПИ): а, б – 50 мкм; в, г – 1000 мкм

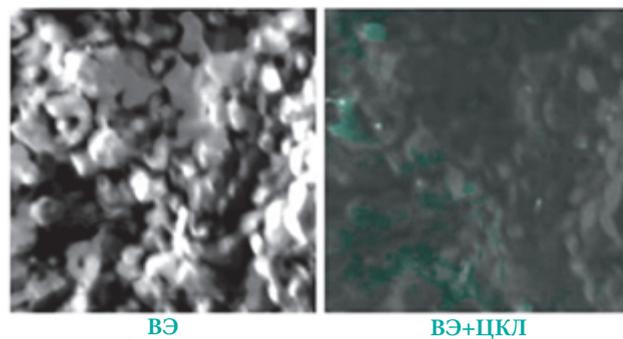
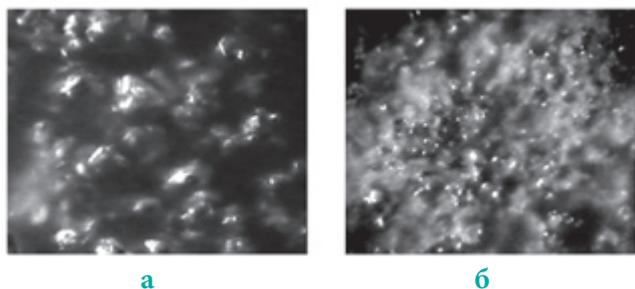


Рис. 2. Изображение поверхности композиционного источника электронов системы « $RO - Me$ » постановки в прибор, полученные в режиме регистрации вторичных электронов и цветной катодолюминесценции. «Разноцветие» катодолюминесценции оксидной фазы катода связано с отклонением от стехиометрического состава или с ее неравновесным состоянием. ШПИ – 40 мкм (ВЭ – в режиме вторичной эмиссии, ВЭ + ЦКЛ – в режимах вторичной эмиссии с использованием цветной катодолюминесценции)



**Рис. 3. Микрофотографии поверхности спеченных электродов, изготовленных с применением крупного (а) и мелкого (б) вольфрамового порошка (×640)**

В [12, глава I] подробно описаны особенности обеспечения термодинамической стабильности при протекании твердофазного взаимодействия в двойных и тройных системах «*RO – Me*». Как правило, результатами твердофазного взаимодействия являются сложные оксиды. Они и оказывают основное влияние на диффузионные процессы в порошковых композиционных источниках электронов. Отслеживая эти процессы с помощью современных аналитических методов и аппаратуры, контролируя технологические режимы получения порошковых композиций, с большой вероятностью можно гарантировать высокое качество порошковых композиционных источников электронов.

Четко отработанная технология получения порошковых эмиттирующих композиций, например *W–Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, включает операции: взвешивание компонентов, смешивание их, изготовление шихты с ограниченной связкой, прессование заготовок, предварительное спекание заготовок при температуре 1000 °С для удаления органических связей,

окончательное спекание заготовок при температуре 1800 °С в сухом водороде, шлифовка поверхности композиционного источника электронов. Они обладают высоким уровнем термоэмиссии при рабочих температурах (до 1600 °С), высоким токоотбором (до 15 А/см<sup>2</sup>), устойчивостью к мощной электронной бомбардировке (до 100 Вт/см<sup>2</sup>) и имеют долговечность до 10000 часов.

Такая же технологическая схема применяется при разработке и производстве спеченных электродов для газоразрядных приборов и композиционных термо-вторично-эмиссионных и вторично-эмиссионных источников электронов для вакуумных СВЧ-приборов [5]. Среди последних особо востребованными являются приборы с безмодуляторным питанием. Композиционные вторично-эмиссионные источники электронов для них должны иметь высокий коэффициент вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ), низкий критический первый потенциал (когда КВЭЭ=1), высокую устойчивость к обратной электронной бомбардировке. Порошковые композиции созданы на основе платины и палладия, меди, никеля, серебра, а также на основе вольфрама с добавками рения и никеля (табл.). По сравнению с порошковыми композиционными термокатодами, композиционные эмиттеры вторичных электронов имеют относительно низкие рабочие температуры. В композиционных системах «*RO – Me*» уже *RO* – это смеси оксидов, в т.ч. *BeO*, *BaO*, *Li<sub>2</sub>O* и др. С учетом того, что твердофазное взаимодействие со временем влияет на эмиссионные свойства, их стабильность и долговечность, многокомпонентную оксидную фазу получают отдельно, например, *Ba<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>O<sub>5</sub>*.

Таблица

**Свойства некоторых порошковых композиционных вторично-эмиссионных эмиттеров**

Состав материала	Максимальный КВЭЭ	Первый критический потенциал, В	Интервал рабочих температур, °С	Предельная мощность обратной бомбардировки, Вт/см <sup>2</sup>
<i>Pt–BeO</i>	2,8	60...80	100...300	20...40
<i>Cu–BaO–Li<sub>2</sub>O</i>	1,9...2,1	80...100	150...600	80...100
<i>Ni–BaO–Li<sub>2</sub>O</i>	2,85...3,1	45...50	400	80...100
<i>Ag–BaO–Li<sub>2</sub>O</i>	3,3...3,9	35	400	80...100
<i>Pd–Ba<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>O<sub>5</sub></i>	3,6...4,0	35...40	700	90...100
<i>Pt–Ba<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>O<sub>5</sub></i>	3,0...4,0	40...45	700...750	100
<i>W–Ba<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>O<sub>5</sub></i>	1,9...2,1	65	600...700	70...90
<i>Re–Ba<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>O<sub>5</sub></i>	2,3...2,4	50	600...700	90...100
<i>W–BaO–BeO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4,0...4,5	25	800	100
<i>Pt–Ba<sub>3</sub>Y<sub>4</sub>O<sub>9</sub>–MgO</i>	3,7	19	700...800	90...100
<i>(Cu–BaO–LiO<sub>2</sub>)–Pt</i>	2,0...2,5	80...100	150...600	100

При разработке композиционных источников эмиссии и других изделий ЭКБ, например тепловодящих элементов, предпочитают тонкодисперсные порошки и наночастицы [7] с применением метода инфильтрации (пропитки) металлической матрицы смесью оксидов или их химических соединений. Композиционные источники термоэмиссии, полученные таким способом, относят к металлопористым или распределительным катодам [12]. Металлопористые композиции с алюминатом бария-кальция при рабочей температуре порядка 1100 °С обеспечивают величину токоотбора до 10 А/см<sup>2</sup>.

*б) Прокатка и плакирование в технике получения объемных и планарных эмиттирующих композиций.*

Порошковые композиции системы «RO – Me» получают способом холодной деформации исходных порошков на прокатных станах [13] с последующим спеканием. Если под плакированием понимать не только получение многослойной планарной композиции из нескольких металлов путем их совместной прокатки, но и нанесение металлического слоя (с одной или двух сторон) на порошковую композицию системы «RO – Me» иным способом, например осаждением (напылением или распылением) металла, то это – аналогичный процесс, т.е. плакирование.

Эти способы широко используются при получении порошковых эмиттирующих композиций со слоями (пленками) на внешней поверхности для вакуумных приборов: (Cu–BaO–Li<sub>2</sub>O) – покрытие из Pt, покрытие из Mo, покрытие из Cu. Эти покрытия на порошковых вторично-эмиссионных композициях стабилизируют их свойства в условиях мощной обратной электронной бомбардировки.

Не менее интересны планарные биметаллические ленты, полученные путем совместной прокатки никеля и алюминия, меди и серебра. Из таких лент методом глубокой вытяжки или штамповки формируют цилиндрические заготовки для холодных источников электронов гелий-неоновых (если внутренний слой алюминий) или CO<sub>2</sub>-лазеров (когда внутренний слой – серебро) [8, 3]. Поскольку сформированные источники электронов эксплуатируются в таких газоразрядных лазерах в условиях ионно-электронной бомбардировки, то твердофазное взаимодействие не является определяющим в стабильности их свойств и, тем не менее, в условиях аномального тлеющего разряда (особенно в газовой смеси CO<sub>2</sub>-лазера) им пренебречь нельзя. Тем более что перед постановкой в гелий-неоновый лазер внутренняя поверхность эмиттирующей структуры, выполненная из алюминия, плакируется нанослоем из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> толщиной 5...30 нм. И в этом случае для обеспечения высокого качества источников холодной эмиссии при их разработке и производстве ис-

пользование вышеописанных методов диагностики и аппаратуры является необходимым.

### Экономические аспекты обеспечения высокого качества изделий радиоэлектроники

Выше, в описании разработки и производства композиционных источников эмиссии современной ЭКБ, подробно изложена и обсуждена информация о физико-химических процессах, необходимая для обеспечения их качества и надежности. Однако, как показывает практика, на широко апробированных эмиттирующих композициях при их производстве и контроле параметров не всегда учитываются особенности твердофазного взаимодействия и т.п. [9], что приводит к выходу из строя приборов, в т.ч. и вакуумных. Имеются и другие примеры выхода из строя важных изделий радиоэлектроники. Поэтому следует рассматривать не только необходимые, но и достаточные гарантии обеспечения качества изделий ЭКБ. И это в значительной степени экономическая составляющая их разработки и производства.

Экономическая составляющая включает в себя новую структуру построения и управления предприятием радиоэлектронного профиля, базирующуюся как на материальных, так и нематериальных его активах [10, 11]. Описанные в этих работах процессы модернизации и использования материальных активов на примере ОАО «Восход» – КРЛЗ (производственные здания, оборудование основных цехов, промплощадка в черте города Калуги со вспомогательными производствами) продолжались в течение нескольких лет. В результате на промплощадке базового предприятия сосредоточилась сеть независимых акционерных обществ по разработке и производству изделий ЭКБ с единым энергообеспечением, снабжением, службами контроля качества и продаж. Наличие филиалов кафедр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана на базовом предприятии и позволило решить сложные проблемы обеспечения качества изделий ЭКБ физико-технологическими способами, которые описаны в предыдущем разделе.

Особенности экономической составляющей в обеспечении достаточности качества состояли в том, что в полной мере были раскрыты возможности нематериальных активов модернизированного предприятия ОАО «Восход» – КРЛЗ [10]. Они включали в себя: уникальные технологии производства, авторские свидетельства на изобретения и патенты, ноу-хау, персонал (руководители базового предприятия и независимых акционерных обществ, цехов и подразделений, конструкторских подразделений и отделов, исследовательских



и аналитических лабораторий, ученые, инженерно-технические работники, мастера, техники, рабочие, практиканты, студенты старших курсов, аспиранты, работающие штатными сотрудниками и совместителями на основном и на вспомогательном производстве) и, наконец, многолетние производственные и творческие связи с потребителями продукции.

Направленность нематериальных активов, ориентировочная стоимость которых около 1 млрд рублей (что в несколько раз превышает стоимость материальных активов предприятия), на единую цель по обеспечению и разработке высококачественных изделий ЭКБ стала основной экономической составляющей предприятия в получении прибыли. Это привело к резкому увеличению зарплаты всего персонала, независимо от того, где трудятся работники: в основном или вспомогательном производстве. Жесткие требования к качеству работы позволили избежать уравниловки и привели к снижению влияния человеческого фактора на продукцию, отклонений от заданных параметров.

Описанная здесь экономическая составляющая достаточности в обеспечении качества изделий ЭКБ может быть использована и в других производствах.

В заключение отметим, что центры диагностики качества или создаваемые в настоящее время центры коллективного пользования уникальным аналитическим и исследовательским оборудованием должны быть независимыми экспертными учреждениями.

## Выводы

На примере эмиттирующих изделий ЭКБ, полученных из объемных композиционных и планарных многослойных материалов, показано, что высокая надежность вакуумных и газоразрядных приборов и радиоэлектронных систем, разработанных на их основе, в значительной степени зависит от качества источников электронов, которое обеспечивается физико-техническими и экономическими факторами, заложенными в их разработку и производство.

Физико-технологические параметры композиционных и многослойных источников электронов рационализируются в процессе исследований и разработки для обеспечения необходимых свойств и долговечности использования апробированных прецизионного оборудования и средств диагностики. Параметры и режимы изготовления и эксплуатации изделий заносятся в техдокументацию (технологические, маршрутные и контрольные карты, технические условия и т.д.) и являются для изготовителя и потребителя незыблемыми.

Экономические факторы, включающие в себя особую структуру построения предприятия-изготовителя, материальные и нематериальные активы, характеризующие уровень производства и качество персонала, обеспечивают достаточно высокое качество изделий.

## Литература

1. Савченко В.П., Кузнецов В.И. Оценка длительности безопасного продления срока эксплуатации стареющего объекта // Надежность и качество: Сб. докл. Междунар. Симпозиума. Пенза: Изд-во ПГУ. 2005. С. 36.
2. Боев С.Ф., Савченко В.П., Садыхов Г.С. Теоретические и методологические основы оценок остаточного ресурса изделий // Научные технологии. 2013. Т. 14. № 9. С. 21-31.
3. Садыхов Г.С. Расчет и оценка времени восстановления ремонтируемых объектов // РМВ. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2006. №11. С. 3-10.
4. Пролейко В.М. Введение в электронику / В кн.: Базовые лекции по электронике. Т.1. Электривакуумная, плазменная и квантовая электроника: Под общ. ред. В.М. Пролейко. М.: Техносфера. 2009. С. 15-45.
5. Коржавый А.П., Марин В.П., Реутов А.П. Перспективные направления разработок материалов для вакуумных приборов // Научные технологии. 2001. Т. 2. № 4. С. 13-19.
6. Инюхин М.В., Коржавый А.П., Прасицкий Г.В. Параметры и техника получения теплоотводящих материалов для полупроводниковых приборов // Научные технологии. 2014. Т. 15. № 2. С. 10-19.
7. Прасицкий В.В. Научно-технологические аспекты производства композиционных материалов для теплоотводящих и конструктивных элементов полупроводниковой и вакуумной техники // Научные технологии. 2014. Т. 15. № 10. С. 16-20.
8. Хворостов В.И., Коржавый А.П., Пролейко Э.П. Взаимозависимости основных параметров холодных катодов и технологических режимов обработки в моноблочных гелий-неоновых лазерах // Научные технологии. 2012. Т. 13. № 10. С. 46-52.
9. Белова И.К., Жданов С.М., Томилин Н.А. Физико-технологические основы долговременного обеспечения стабильности эмиссионных свойств композиционных катодов // Научные технологии. 2014. Т. 15. № 10. С. 21-25.
10. Яранцев Н.В. Научно-технические основы модернизации организационной структуры и технологических процессов для инновационного развития предприятия по производству электронных

компонентов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М. 2011. 20 с.

11. Яранцев Н.В. Сотовая структура построения экологически безопасного производства в радиоэлектронике // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. М., 2009. Т. 1. С. 258-259.

12. Коржавый А.П., Капустин В.И., Козьмин Г.В. Методы экспериментальной физики в избранных технологиях защиты природы и человека. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 352 с.

13. Пономарев В.А., Яранцев Н.В. Порошковые композиционные материалы для изделий электронной техники: Научное издание. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 304 с.

## Использование телевизионных измерительных систем управляющего типа на микролифтовых БПЛА



**А.Ю. Матвеев**

аспирант МГТУ  
МИРЭА

Как отмечено в работах [1–4], увеличение продолжительности полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) может быть достигнуто за счет использования энергии микролифтов (автоструктур), образующихся на малых высотах в атмосферном пограничном слое (АПС). В этом случае на БПЛА поиск микролифтов должен быть автоматизирован. Данная задача может быть решена с помощью телевизионной измерительной системы (ТИС), используемой в качестве телевизионного датчика (ТВД) – тепловизионный приемник (ТВП), точность измерения температуры которого такова, что позволяет обнаружить микролифтовые потоки [1].

В настоящее время телевизионная техника развивается по двум основным направлениям [5–7]. Одно из них – вещательное телевидение, второе получило название **прикладного телевидения**. В свою очередь системы прикладного телевидения по назначению и принципу делятся на две основные группы. К первой группе относятся **обзорно-поисковые** или **информационные системы**. Они предназначены для наблюдения за общей обстановкой внутри заданного пространства, ограни-

ченного полем зрения объектива, визуального или автоматического поиска, обнаружения и опознавания интересующих оператора объектов. Типичным примером такого рода систем являются ТВ-камеры, работающие в видимом и ИК-диапазонах длин волн, устанавливаемые на БПЛА. Ко **второй группе относятся ТИС, служащие для контроля и измерения отдельных параметров объекта**. При этом в автоматическом режиме решается задача обнаружения и распознавания объекта с целью дальнейшего измерения его параметров.

Основное назначение измерительного телевидения – извлечение количественной информации об объектах, находящихся в поле зрения ТВД, с целью ее использования для решения конкретных задач контроля и управления. В нашем случае решается задача обнаружения микролифтов, расстояния и положения их относительно БПЛА для последующего сближения летательного аппарата (ЛА) с микролифтом и использования его энергии для компенсации потерь высоты. Для этого ТИС на основании информации, полученной о микролифте, выдает соответствующие команды на органы управления БПЛА, т.е., наряду с автопилотом, принимает участие в управлении ЛА, корректируя его траекторию движения.

ТИС делятся на автоматизированные (или полуавтоматические), в которых для работы системы **необходимо присутствие оператора** (например, **пилота в случае микролифтовых планеров**), и **полностью автоматические**, которые функционируют без участия оператора (БПЛА).

Обычно ТИС характеризуется рядом параметров и характеристик.

*Точностные параметры и характеристики* (характеристики измерения, обнаружения, распознавания). В случае измерительных систем