

К. т. н. Б. А. ДЕМЬЯНЧУК

Украина, Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова
E-mail: badem@rambler.ru

Дата поступления в редакцию
29.01.2007 г.

Оппонент д. ф.-м. н. В. В. НОВИКОВ
(ОНПУ, г. Одесса)

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ЭКРАНИРУЮЩИХ РАДИОМАТЕРИАЛОВ

Интегральный показатель качества материалов определяется по шестнадцати частным показателям их качества методом построения графиков множественных факторов.

Теория сложных систем, теория исследования операций и теория принятия решений располагают мощным арсеналом методов для решения так называемых плохоопределенных задач [1—3].

К ним относится и задача сопоставления образцов материалов — преобразователей энергии по совокупности их существенных показателей качества. Методика такого сопоставления представляет собой инструмент многофакторного сравнения, например, электропроводящих, экранирующих или радиозащитных узлов электронной аппаратуры.

Экранирующие материалы, как известно, характеризуются совокупностью показателей качества — таких как эффективностных, эксплуатационных, технологических и прочностных. Сопоставление имеющегося варианта покрытия с альтернативным делается с целью принять решение, что лучше, т. е. с целью решения задачи выбора. Это означает, что при сопоставлении нельзя обойти проблему определения некоторого интегрального (обобщенного) показателя качества покрытия, а следовательно, нельзя избежать приемов сведения многокритериальной задачи выбора к однокритериальной.

К сожалению, многие известные приемы решения многокритериальных задач отличаются либо узкой направленностью, либо излишней универсальностью и, естественно, теоретической перегруженностью [4, 5].

В связи с этим, а также с целью облегчения практической применимости такого решения, в статье предлагается графический способ сопоставления произвольных альтернативных покрытий по множеству существенных частных показателей качества, отражающих разные стороны потребительской и производственной полезности сравниваемых материалов для экранирования электромагнитной энергии.

Пусть частные показатели качества содержатся в следующей таблице. Пять показателей объединены в следующие четыре группы: показатели эффективности; показатели эксплуатационных свойств; технологичности изготовления и применения; механической стойкости.

I. Показатели эффективности:

- 1) коэффициент отражения K_o ;
- 2) коэффициент прохождения покрытия $K_{пр}$;
- 3) стоимость единицы площади покрытия C ;
- 4) коэффициент широкополосности f .

II. Показатели эксплуатационных свойств:

- 5) адгезионная способность a ;
- 6) долговечность γ ;
- 7) термостойкость T ;
- 8) токсичность q .

III. Показатели технологичности изготовления и применения:

- 9) технологичность ζ ;
- 10) толщина покрытия d ;
- 11) плотность ρ ;
- 12) пористость ξ .

IV. Показатели механической стойкости:

- 13) прочность P ;
- 14) твердость t ;
- 15) влагостойкость w ;
- 16) хрупкость h .

Поскольку часть этой группы показателей характеризует, если можно так сказать, «отрицательное» качество, то для удобства решения задачи сопоставления целесообразно свести все показатели к одному «знаку качества». Тогда получим показатели, отвечающие требованию: чем больше значение показателя, тем лучше, а именно:

$$I. K_o^{-1}; K_{пр}^{-1}; C^{-1}; f.$$

$$II. a; \gamma; T; q^{-1}.$$

$$III. \zeta; d^{-1}; \rho^{-1}; \xi^{-1}.$$

$$IV. P; t; w; h^{-1}.$$

Ясно, что показатели, которые оказываются таким образом модифицированными, должны получить другие названия, соответствующие смыслу обозначения, например:

$$K_o^{-1} — коэффициент ослабления отражений;$$

$$K_{пр}^{-1} — коэффициент поглощения;$$

$$C^{-1} — экономичность;$$

$$q^{-1} — токсическая безопасность;$$

$$d^{-1} — коэффициент тонкостенности;$$

$$\rho^{-1} — коэффициент легкости;$$

$$\xi^{-1} — структурная плотность;$$

$$h^{-1} — эластичность.$$

Кроме того, чтобы избавиться от учета размерностей показателей и расширить диапазон допустимых различий в значениях конкретных параметров альтернатив, представляется целесообразным нормировать частные показатели качества сопоставляемых образцов покрытий величиной, равной модулю радиуса-вектора (A) количественных значений параметров сопоставляемых образцов, который имеет вид

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2},$$

где A_1 — частный показатель качества образца № 1;
 A_2 — аналогичный частный показатель качества образца № 2.

Такое нормирование упрощает процесс сопоставления образцов.

Результаты модификации и нормирования, скажем, 1-го и 16-го частных показателей качества представляются, следовательно, в виде

$$X_1^{(1)} = \frac{K_{0(1)}^{-1}}{\sqrt{[K_{0(1)}^{-1}]^2 + [K_{0(2)}^{-1}]^2}};$$

$$X_{16}^{(1)} = \frac{h_{16(1)}^{-1}}{\sqrt{[h_{16(1)}^{-1}]^2 + [h_{16(2)}^{-1}]^2}};$$

$$X_1^{(2)} = \frac{K_{0(2)}^{-1}}{\sqrt{[K_{0(1)}^{-1}]^2 + [K_{0(2)}^{-1}]^2}};$$

$$X_{16}^{(2)} = \frac{h_{16(2)}^{-1}}{\sqrt{[h_{16(1)}^{-1}]^2 + [h_{16(2)}^{-1}]^2}}.$$

Суть способа сопоставления вариантов (1) и (2) покрытий по графикам множественных факторов состоит в следующем.

1. Сначала четыре группы показателей ранжируются экспертами по важности.

2. Параметры X_{ij} , $i = 1, 4$; $j = \overline{1, 4}$ согласованно ранжируются, т. е. с помощью экспертов расставляются в каждой группе по важности. После обработки результатов получается последовательность всех ранжированных показателей в виде

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_{15}, X_{16}\}.$$

3. Считается, что важность одной группы показателей тем выше, чем меньше номер группы; важность конкретного показателя в группе тем выше, чем меньше его номер в группе номеров показателей.

4. Каждой группе из четырех параметров ставится в соответствие один из квадратов, по сторонам которого нанесены шкалы соответствующих ранжированных параметров — от минимального значения

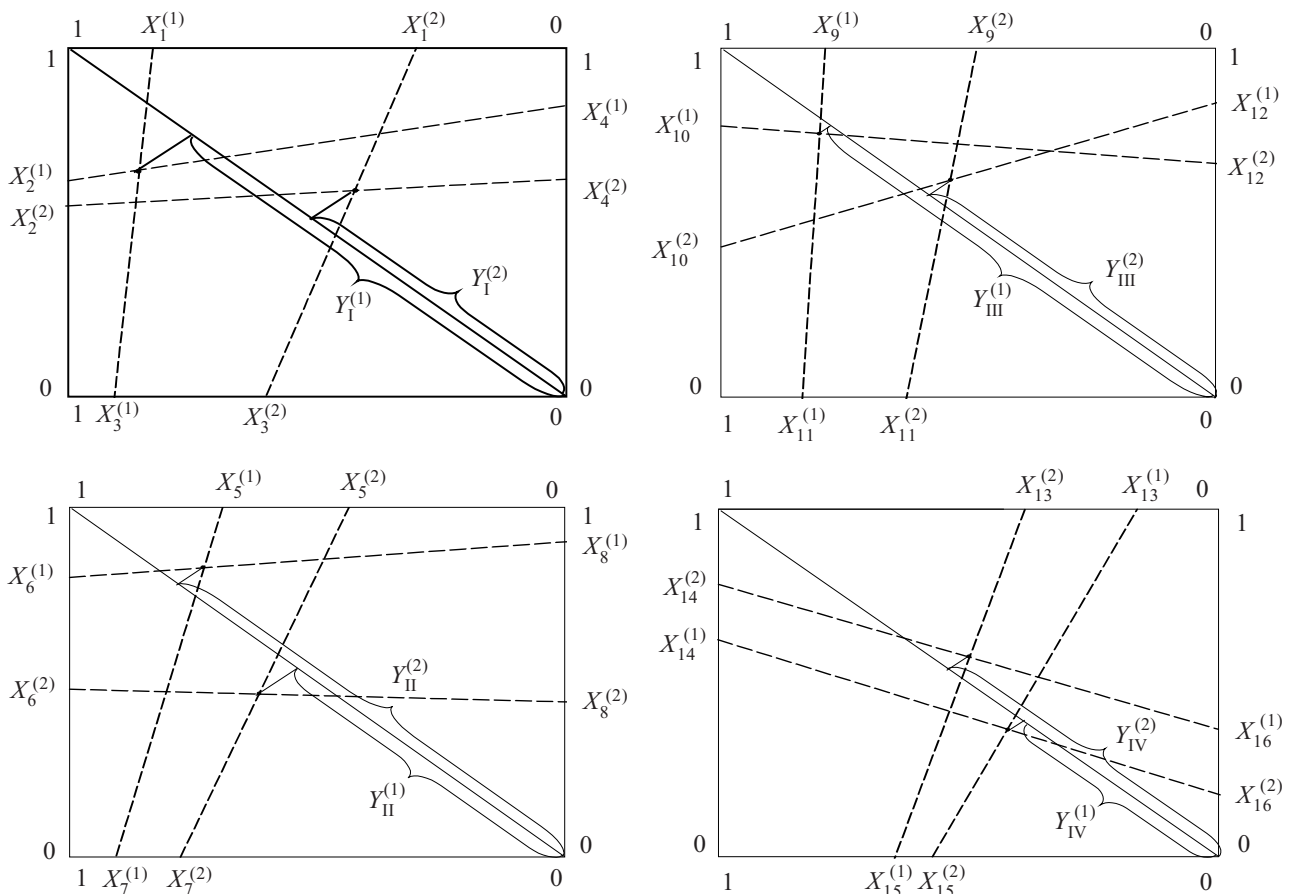


Рис. 1. Групповые графики множественных факторов

(например, ноль) до максимального (единицы). На горизонтальных сторонах квадрата шкалы наносятся справа налево, на вертикальных — снизу вверх (рис. 1).

На каждой шкале (стороне квадрата) откладывается значение соответствующего показателя первого (индекс 1) и альтернативного (индекс 2) образца. При этом значение наиболее важных показателей из группы откладывается на левой и верхней сторонах квадрата.

5. Затем значения показателей, взятые на противоположных сторонах квадрата, соединяются прямыми линиями. Из точки пересечения этих линий опускается перпендикуляр на диагональ квадрата, проведенную из правого нижнего угла в левый верхний. Диагональ разбивается на сто равных отрезков. Точка пересечения перпендикуляра с диагональю дает комплексную оценку $Y_{(1)}$, $Y_{(2)}$ каждого из двух сопоставляемых образцов. Такой подход позволяет получить значение комплексной (групповой) оценки в процентах. При этом отсчет численных значений проводится на диагонали от правого нижнего угла, который принимается за начало отсчета, до пересечения перпендикуляра с диагональю (см. рис. 1).

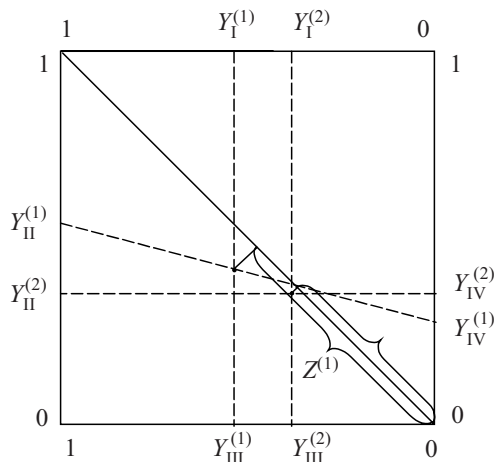


Рис. 2. Интегральный график

6. Далее значения четырех комплексных (групповых) оценок переносятся на интегральный график (рис. 2). Комплексные оценки более важных групп, характеризующие наиболее важные обобщенные показатели качества образца, наносятся на левую и верх-

нюю шкалы (в данном случае — это обобщенные групповые показатели качества покрытий).

7. Далее, выполняя для обоих сопоставляемых образцов процедуру построения, описанную выше, получаем численные значения интегральных показателей качества сопоставляемых образцов (см. рис. 2). Лучшим является тот образец, для которого обобщенный показатель качества Z выше, т. е.

$$Z_{opt} = \max[Z^{(1)}, Z^{(2)}].$$

Ниже приводится пример практического сопоставления конкретных образцов покрытий с помощью предлагаемых способов. Его практическая ценность, однако, ограничивается по следующим объективным причинам.

Во-первых, большая часть характеристик разрабатываемых и, например, альтернативных покрытий просто неизвестна.

Во-вторых, более объективным считается сравнение аналогичных, т. е. сопоставимых, покрытий, имеющих одинаковое назначение, серийно выпускаемых. Поэтому результат сопоставления того, что широко применяется (публикуется в открытой рекламе), с тем, что находится на столе в научно-исследовательской лаборатории, может в определенной степени ввести в заблуждение: научно обоснованные данные достоверны с существенными оговорками, связанными с временным фактором и с проблемами практического внедрения новых разработок.

В качестве конкретной иллюстрации методики сопоставим вначале аналитически, затем по графикам множественных факторов, реально существующие покрытия следующих четырех видов:

- 1) покрытие фирмы «Плесси» АО RAM;
- 2) покрытие фирмы «Плесси» К-РАМ;
- 3) покрытие В2 (Ф2) ТУ 38105.486—79 (Россия);
- 4) покрытие (Украина), назовем его ОДП.

Воспользуемся лишь перечнем частных показателей покрытия, известных точно (табл. 1) [6, а также ТУ 38105.486—79]. После модификации частных показателей получим значения, приведенные в табл. 2.

Перейдем к сопоставлению по графикам множественных факторов. Для повышения объективности конкретного сопоставления осуществим попарное

Таблица 1

Частные показатели качества сравниваемых покрытий

Номер показателя качества	Значение показателя качества	Марка покрытия			
		АО-РАМ	К-РАМ	В2 (Ф2)	ОДП
1	Коэффициент отражения $K_o = \frac{P_o}{P_n}$	0,300 (-5,3 дБ)	0,012 (-19,2 дБ)	0,03 (-15,2 дБ)	0,011 (-19,6 дБ)
2	Коэффициент широкополосности $f = \frac{\Delta f}{f_0}$	0,7	1,8	1,9	1,8
3	Толщина покрытия d , мм	1,35	7,5	15	2,5
4	Масса одного кв. метра покрытия P_o , кг	4,7	12,2	11,0	6,0

Таблица 2

Модифицированные показатели качества

		АО-RAM	K-RAM	B2 (Ф2)	ОДП
X_1	K_0^{-1}	3,33	83,33	33,33	90,91
X_2	f	0,7	1,8	1,9	1,9
X_3	d^{-1}	0,74	0,14	0,07	0,40
X_4	P_0^{-1}	0,21	0,08	0,09	0,17

(несовместное) сравнение покрытия ОДП последовательно с каждым из остальных покрытий.

Нормирующие модули вычислим исходя из табл. 2.

$$A_1 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{1j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{3,33^2 + 90,91^2} = 90,970;$$

$$A_2 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{2j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,7^2 + 1,9^2} = 2,025;$$

$$A_3 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{3j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,74^2 + 0,40^2} = 0,841;$$

$$A_4 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{4j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,21^2 + 0,17^2} = 0,270$$

при сравнении с АО-RAM.

$$A_1 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{1j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{83,33^2 + 90,91^2} = 123,32;$$

$$A_2 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{2j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{1,8^2 + 1,9^2} = 2,62;$$

$$A_3 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{3j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,13^2 + 0,40^2} = 0,421;$$

$$A_4 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{4j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,08^2 + 0,17^2} = 0,188$$

при сравнении с K-RAM.

$$A_1 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{1j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{33,33^2 + 90,91^2} = 96,827;$$

$$A_2 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{2j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{1,9^2 + 1,9^2} = 2,687;$$

$$A_3 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{3j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,07^2 + 0,40^2} = 0,410;$$

$$A_4 = \left[\sum_{j=1}^2 X_{4j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0,09^2 + 0,17^2} = 0,192$$

при сравнении с B2(Ф2).

Таблица 3

Нормированные модифицированные параметры для сопоставления образцов

Номер параметра	Номер альтернативы			
	(1) АО-RAM	(2) K-RAM	(3) B2 (Ф2)	(4) ОДП
F_1	$F_{11}^{(1)} = 0,037$	$F_{12}^{(2)} = 0,676$	$F_{13}^{(3)} = 0,344$	$F_{14}^{(4,1)} = 0,999$ $F_{14}^{(4,2)} = 0,734$ $F_{14}^{(4,3)} = 0,939$
F_2	$F_{21}^{(1)} = 0,346$	$F_{22}^{(2)} = 0,687$	$F_{23}^{(3)} = 0,707$	$F_{24}^{(4,1)} = 0,938$ $F_{24}^{(4,2)} = 0,725$ $F_{24}^{(4,3)} = 0,707$
F_3	$F_{31}^{(1)} = 0,880$	$F_{32}^{(2)} = 0,309$	$F_{33}^{(3)} = 0,171$	$F_{34}^{(4,1)} = 0,476$ $F_{34}^{(4,2)} = 0,950$ $F_{34}^{(4,3)} = 0,976$
F_4	$F_{41}^{(1)} = 0,778$	$F_{42}^{(2)} = 0,426$	$F_{43}^{(3)} = 0,468$	$F_{44}^{(4,1)} = 0,630$ $F_{44}^{(4,2)} = 0,904$ $F_{44}^{(4,3)} = 0,885$

После нормирования модифицированных показателей качества покрытий с учетом этих модулей получаем возможность сопоставления (см. табл. 3).

Считая, что результаты ранжирования по важности частных показателей качества определяются вектором предпочтений в виде

$$F = \{F_1, F_2, F_3, F_4\},$$

значения показателей будем откладывать следующим образом:

- F_1 — на верхней стороне квадрата;
- F_2 — на левой его стороне;
- F_3 — на нижней стороне;
- F_4 — на правой стороне квадрата.

После этого соединим попарно значения параметров, отложенные для каждого покрытия на противоположных сторонах, т. е., например, F_{11} с F_{31} , а F_{21} с F_{41} , в общем случае F_{ij} с $F_{(i+2)j}$, $\forall i = \overline{1, 2}$; $\forall j = \overline{1, 2}$.

В результате проектирования на диагональ квадрата точек пересечения прямых, соединяющих значения параметров одного образца, т. е. параметров с конкретным j -м номером, получим значение P_j интегрального показателя качества j -го покрытия (рис. 3).

Далее определим лучшее покрытие по формуле, например, в процентах от идеально возможного (некоего эталонного) значения.

Сопоставление образцов покрытий — преобразователей энергии дает следующие результаты:

$$\text{АО-RAM: } P^{(1)}=50\% \Leftrightarrow \text{ОДП: } P^{(4,1)}=93,5\%;$$

$$\text{K-RAM: } P^{(2)}=54\% \Leftrightarrow \text{ОДП: } P^{(4,2)}=76,5\%;$$

$$\text{B2 (Ф2): } P^{(3)}=43\% \Leftrightarrow \text{ОДП: } P^{(4,3)}=83,5\%.$$

В целом видно, что графический способ сопоставления дает непротиворечивые результаты. Это подтверждается и соответствием разностных конкретных интегральных показателей качества покрытий показателям, полученным по данным экспертов:

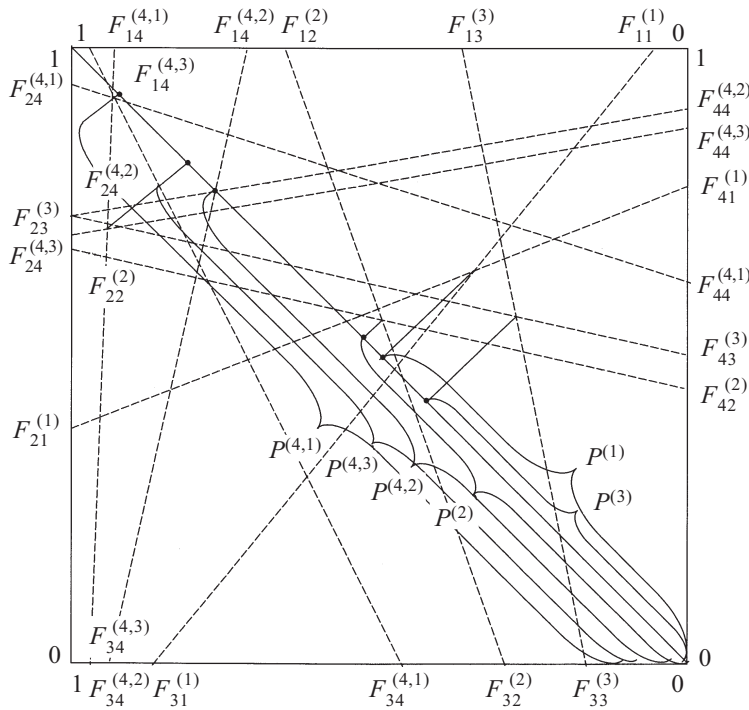


Рис. 3. Графики попарного сравнения образцов

$$P^{(4,1)} - P^{(1)} = 43,5\%;$$

$$P^{(4,2)} - P^{(2)} = 22,5\%;$$

$$P^{(4,3)} - P^{(3)} = 40,5\%.$$

Результаты сравнения позволяют составить (с высокой долей объективности) вектор предпочтений сопоставляемых покрытий в виде

$$C = \{ \text{ОДП, К-РАМ, В2(Ф2), АО-РАМ} \}.$$

Выводы

1. Задача сопоставления вариантов образцов материалов, характеризуемых множеством показателей качества, относится к классу плохо определенных, т. к. связана с сопоставлением по показателям, не поддающимся точному учету, зависящим от многих

случайных и неопределенных факторов, обычно субъективно ранжируемым по важности.

2. Применение простых по смыслу и содержанию интегральных показателей, вычисляемых по графикам множественных факторов, представляется полезным для первичных оценок, позволяющих ориентировочно сопоставлять альтернативные варианты и уяснять факторы, способствующие правильному выбору направления в работе.

3. Рассмотренные в настоящей статье композитные покрытия типа ОДП являются наиболее предпочтительными, поскольку уровень их интегрального показателя качества на 20—40% выше, чем у известных.

4. Применение предложенной модели для объективного и оперативного сравнения по множеству показателей качества этих и других образцов материалов и других объектов (в том числе технического оборудования) особенно полезно и эффективно при использовании персональных компьютеров и соответствующих подпрограмм.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Вентцель Е. С. Методологические особенности прикладной математики на современном этапе.— Математика, кибернетика.— М.: Знание, 1982.
2. Солнышков Ю. С. Оптимизация выбора вооружения.— М.: Воениздат, 1968.
3. Гафт М. Г. Принятие решений при многих критериях.— М.: Знание, 1979.
4. Ларичев О. И. Системный анализ: проблемы и перспективы // Автоматика и телемеханика.— 1975.— №2.— С. 15—20.
5. Резников Б. А. Анализ и оптимизация сложных систем.— Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1981.
6. Беляев Ю. А. Радиопоглощающие материалы и технология “Стелт” // Зарубежное военное обозрение.— 1988.— №6.— С. 47—51.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Формирование прозрачных омических контактов к р-GaN для светоизлучающих диодов. (Украина, г. Киев)
- Методы коррекции оптических эффектов близости. (Россия, г. Москва)
- Возможности моделирования технологических процессов изготовления субмикронных КМОП СБИС с помощью современных систем TCAD. (Россия, г. Москва)
- Определение высоты барьера Шоттки Au-n-GaAs фотоэлектрическим методом. (Туркменистан, г. Ашхабад; Россия, г. Санкт-Петербург)
- Оптический датчик температуры на основе нанокристаллической плёнки SiC. (Украина, г. Харьков)
- Автоматизированный спектрометр глубоких уровней для исследования полупроводниковых структур. (Украина, г. Киев)
- Аппаратурные средства для экологического мониторинга техногенных электромагнитных полей. (Польша, г. Вроцлав; Украина, г. Львов)
- Анализ фотоэлектрических свойств фотоэлектропреобразовательных структур. (Узбекистан, г. Ташкент; Украина, г. Киев)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции