

УДК 621.315.611

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-2-48-61>

EDN: JJYBNL

## Анализ параметров металлических пленочных резисторов, используемых в приборостроении

Оглуздин С. С.<sup>1</sup> ✉, Ким В. А.<sup>1</sup>, Погорелов А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация

<sup>2</sup>Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного  
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

**Постановка задачи:** поиск и выбор металлических пленочных резисторов крупных коммерческих компаний; определение значимых для приборостроения параметров резисторов; изучение существующих литературных данных по способам оценки таких параметров; расчет показателей привлекательности металлических пленочных резисторов каждого производителя для каждого выбранного параметра и комплексного показателя привлекательности, анализ полученных результатов. **Целью работы** является сравнительный анализ резисторов трех коммерческих компаний по следующим параметрам: стоимость, номинал сопротивления, погрешность габаритов, коэффициент напряжения и температурный коэффициент сопротивления. **Используемые методы:** сравнение резисторов при помощи суммирования ранжированных показателей. **Новизна:** элементом новизны представленного исследования является анализ габаритных параметров и коэффициента напряжения. **Результат:** резисторы YUANQI ELECTRONIC имеют наибольший обобщенный показатель привлекательности. Они являются самым оптимальным выбором для приборостроения из всех выбранных моделей, а также имеют наилучшую погрешность номинала сопротивления, погрешность габаритов и температурный коэффициент сопротивления. Резисторы FXI Electronics Corporation имеют более низкий обобщенный показатель привлекательности, однако обладают преимуществом в коэффициенте напряжения. Эти резисторы стоит использовать в приборах силовой электроники, мощность которых может изменяться в широких пределах, и оказывать тем самым различное влияние на резистивность металлических пленок. Резисторы WEIDILY обладают преимуществом в стоимости. **Теоретическая / Практическая значимость:** представленное сравнение предлагается использовать при выборе производителя металлических пленочных резисторов для приборостроения. Также рассчитанные показатели обобщенной привлекательности позволят принимать решения о покупке выбранных для исследования резисторов, сравнения с другими производителями резисторов, проведения собственных исследований, улучшения качества металлических пленочных резисторов и выявления слабых сторон.

**Ключевые слова:** значения параметров резисторов, измерение номиналов резисторов, обобщенный показатель, металлические пленочные резисторы, коэффициент напряжения

### Библиографическая ссылка на статью:

Оглуздин С. С., Ким В. А., Погорелов А. А. Анализ параметров металлических пленочных резисторов, используемых в приборостроении // Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. Т. 12. № 2. С. 48–61. DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-2-48-61. EDN: JJYBNL

### Reference for citation:

Ogluzdin S. S., Kim V. A., Pogorelov A. A. Analysis of Parameters of Metal Film Resistors Used in Instrument Engineering. *Telecom IT*. 2024. Vol. 12. Iss. 2. PP. 48–61. (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-2-48-61. EDN: JJYBNL

## Актуальность

Резисторы подразделяются на проволочные и пленочные. Проволочные резисторы формируются путем наматывания проволоки или ленты с высоким сопротивлением на каркас. Пленочные резисторы создаются нанесением пленки на изоляционную поверхность и характеризуются компактными размерами, а также доступной ценой, однако уступают проволочным резисторам в стабильности сопротивления. Сопротивление пленочных резисторов может изменяться под воздействием температуры, влажности и механических факторов.

В зависимости от материала пленки, различают углеродистые, металлические, композиционные и полупроводниковые резисторы. Металлопленочные резисторы обладают меньшими размерами по сравнению с углеродистыми и композиционными, отличаются более низкой стоимостью, повышенной влажостойкостью и теплостойкостью. Эти качества делают их широко распространенным элементом в радиоэлектронике. Популярность металлопленочных резисторов обусловлена современной тенденцией к миниатюризации, поскольку применение тонких пленок является обязательным для производства высокоточных резисторов с размерами менее 130 мкм [1]. Кроме того, данный тип резисторов имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Несмотря на то, что одним из основных недостатков металлопленочных резисторов является перегрев, применение инновационных керамических сердечников позволило существенно повысить эффективность рассеивания тепловой энергии. Это свойство открывает возможности для использования таких резисторов в космической сфере [2].

Согласно документации от производителя *Vishay Intertechnology* – одного из крупнейших поставщиков пассивных электронных компонентов в мире [3], металлопленочные резисторы изготавливаются путем нанесения металлической пленки на диэлектрическое основание путем термовакuumного распыления [1]. После присоединения клемм, изделие подвергают лазерной обработке, наносят цветовую кодировку и покрывают лаком. Основным достоинством металлизированных пленочных резисторов являются меньшие пределы отклонения сопротивления в зависимости от заявляемого номинала по сравнению с углеродистыми пленочными резисторами [1, 4]. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) этих резисторов лежит в пределах 0,005–0,01 % / °C, при заявляемом допуске 0,1 % / °C от номинала. Металлические пленочные резисторы обладают достаточно хорошими шумовыми характеристиками, низкой нелинейностью и высокой стабильностью по времени работы, что определяет их привлекательность для изготовления прецизионных приборов. Благодаря незначительному разбросу номинала от допустимых значений и относительно небольшим габаритам, металлопленочные резисторы получили широкое распространение в электронике общего применения [5]. А низкая стоимость способствовала их высокой популярности у радиолюбителей. Для облегчения выбора производителя металлических пленочных резисторов в настоящей статье приведены результаты ана-

лиза ключевых параметров резисторов, производимых крупными коммерческими компаниями. По результатам анализа и сделаны выводы и выработаны рекомендации.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью определены основные задачи научного исследования:

- поиск и выбор металлических пленочных резисторов;
- определение параметров сравнения;
- изучение существующих литературных данных по способам оценки параметров;
- расчет показателей привлекательности металлических пленочных резисторов каждого производителя для каждого исследуемого параметра;
- расчет комплексного показателя привлекательности, анализ полученных результатов.

Результаты сравнительной оценки резисторов

По показателю стоимости

Для элементной базы, широко используемой в приборостроении при массовом ее производстве, важнейшим показателем является коммерческая стоимость. Анализ рынка элементной базы показал, что наибольшие объемы производства наблюдаются у таких производителей, как *FXI Electronics Corporation*, *YUANQI ELECTRONIC* и *WEIDILY*, поэтому именно их продукция была выбрана для проведения исследования. В частности, были отобраны наборы металлических пленочных резисторов в количестве 100 единиц номиналами 220 Ом, 1 и 10 кОм с допустимой мощностью рассеивания в 0,25 Ватт. В таблице 1 приведены результаты средней стоимости резистора указанных производителей.

Таблица 1 – Средняя рыночная стоимость резистора

Производитель	Цена набора (100 единиц), руб.			Цена одной единицы, руб.			Средняя цена, руб.
	220	1к	10к	220	1к	10к	
<i>FXI Electronics Corporation</i>	64	64	64	0,64	0,64	0,64	0,64
<i>YUANQI ELECTRONIC</i>	56	56	56	0,56	0,56	0,56	0,56
<i>WEIDILY</i>	55	55	55	0,55	0,55	0,55	0,55

Расчет средней рыночной стоимости резисторов, представленных в таблице 1, проводился в соответствии с выражением:

$$C_{cp} = \frac{\sum_i^n C_i}{n_{apт}},$$

(1)

где  $C_i$  – средняя стоимость резистора одного из рассматриваемых артикулов;  $n_{\text{арт}}$  – количество артикулов (для исследования отобрано 3 артикула).

Анализ результатов расчета показал, что средняя рыночная стоимость металлического пленочного резистора на четвертый квартал 2024 года составила 0,58 руб. за одну единицу товара. При этом наиболее низкую стоимость имела продукция производителя *WEIDILY*. Средняя стоимость резистора – 0,55 руб.

#### *По показателю отклонения от номинала*

Отклонение параметров радиоэлектронных изделий во многом зависит от номинальной погрешности, используемой для их изготовления элементной базы. Даже малые значения отклонений номиналов компонентов могут привести к значительным отклонениям параметров изделий, поэтому целесообразно еще на этапе закупки элементной базы определиться с производителем. В ходе исследования сопротивлений по показателю отклонения от заявленного номинала, случайным образом были отобраны по 10 экземпляров резисторов сопротивлением 220 Ом, 1 и 10 кОм, значения которых измерялись мультиметром модели CEM DT-9918T. Внешний вид мультиметра представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Мультиметр модели CEM DT-9918T

В таблице 2 приведены результаты вычислений среднего отклонения измеренной величины резисторов от заявленного номинала ( $\delta_{\text{Рср}}$ ) по выражению:

$$\delta_{\text{Рср}} = \frac{\sum_i^n \delta_{Ri}}{n_{\text{НОМ}}}, \quad (2)$$

где  $\delta_i$  – отклонение измеренного значения от заявленного номинала, рассчитываемого согласно формуле (3);  $n_{\text{НОМ}}$  – количество рассматриваемых номиналов (в исследовании рассмотрено 3 номинала).

$$\delta_R = \frac{\sum_i^n |R_{\text{изм}i} - R_{\text{НОМ}}|}{R_{\text{НОМ}} * n_{\text{изм}}} * 100 \%, \quad (3)$$

где  $R_{изм_i}$  – измеренное значение сопротивления резистора;  $R_{ном}$  – номинальное значение сопротивления резистора;  $n_{изм}$  – количество измерений.

Таблица 2 – Среднее отклонение значения сопротивления резистора от заявляемого номинала

Производитель	Измеренное значение сопротивления, Ом			Погрешность номинального сопротивления, %			$\delta_{Rcp}, \%$
	220	1000	10000	220	1000	10000	
FXI Electronics Corporation	219,13	997,96	9967,2	0,71	0,58	0,65	0,64
	219,36	992,88	9893,1				
	218,95	994,92	9963,4				
	217,67	996,96	9930,3				
	218,25	987,33	9946,8				
	218,31	996,69	9920,0				
	218,06	999,68	9905,2				
	218,96	999,49	9950,7				
	217,04	986,29	9876,6				
	218,70	989,98	9998,8				
YUANQI ELECTRONIC	219,13	997,29	9959,7	0,18	0,31	0,24	0,24
	219,88	996,11	9960,9				
	219,65	998,39	9977,4				
	219,20	999,55	9986,5				
	219,48	996,11	9976,3				
	219,86	995,09	9990,6				
	219,27	996,95	9982,0				
	219,80	995,29	9952,4				
	219,89	995,68	9980,5				
	219,85	998,66	9994,6				
WEIDILY	219,88	994,08	9955,5	0,34	0,64	0,37	0,45
	219,77	997,82	9925,9				
	217,91	992,48	9991,4				
	219,52	993,88	9966,5				
	218,66	994,53	9960,8				
	218,70	998,71	9994,1				
	219,06	998,47	9998,1				
	219,40	986,13	9912,4				
	219,62	988,06	9969,9				
	219,96	991,42	9960,2				

Средняя погрешность номинала сопротивления резисторов по рынку была определена по выражению:

$$\delta_{Робщ} = \frac{\sum_i^n \delta_{Rcp_i}}{n_{арт}},$$

(4)

где  $\delta_{Rcp_i}$  – средняя погрешность сопротивления резисторов одного из рассматриваемых артикулов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что среднее отклонение сопротивления металлического пленочного резистора от номинала составило 0,44 %. Наименьшее отклонение сопротивления от номинала имеют металлические пленочные резисторы производителя *YUANQI ELECTRONIC* (0,24 %).

### Результаты сравнительной оценки погрешности изготовления габаритов резисторов

В приборах аэрокосмической сферы, ввиду строгих требований, предъявляемых компактности, выполняется плотный монтаж комплектующих элементов. Поэтому на габариты элементной базы накладываются ограничения по их размерам. Для обеспечения идентичности изделий необходимо, чтобы разброс габаритных параметров не превышал допустимых значений, поэтому следующим показателем была определена погрешность изготовления габаритов резисторов. В интересах анализа погрешности номинальных значений габаритов металлических пленочных резисторов случайным образом были выбраны по 16 экземпляров изделий каждого из производителей. Измерения проводились посредством цифрового штангенциркуля Matrix, изображенного на рисунке 2. В качестве измеряемых значений была определена длина корпуса резистора без учета контактных выводов. В связи с тем, что все резисторы, отобранные для исследования, имеют одинаковые габариты, разделение их по номиналу не проводилось.



Рис. 2. Цифровой штангенциркуль модели Matrix

В таблице 3 приведены результаты вычисления погрешности измеренного значения номинальной длины и диаметра резисторов по следующим выражениям:

$$\delta_l = \frac{\sum_i^n |l_{изм_i} - l_{ном}|}{l_{ном} * n_{изм.}} * 100 \%, \quad (5)$$

$$\delta_D = \frac{\sum_i^n |D_{изм_i} - D_{ном}|}{D_{ном} * n_{изм.}} * 100 \%, \quad (6)$$

где  $l_{изм_i}$ ,  $D_{изм_i}$  – измеренные значения длины резистора и его диаметра;  $l_{ном}$ ,  $D_{ном}$  – номинальные значения длины резистора и его диаметра, в соответствии с документацией производителя.

Таблица 3 – Погрешность длины, диаметра и объема резистора

Производитель	$l_{ном}$ , мм	$D_{ном}$ , мм	$l_{изм}$ , мм		$D_{изм}$ , мм		$\delta_l$ , %	$\delta_D$ , %	$\delta_v$ , %
FXI Electronics Corporation	6,3	2,4	5,81	6,43	2,37	2,49	4,1	5,3	11,4
			5,93	6,30	2,49	2,22			
			5,83	6,70	2,54	2,59			
			6,68	6,52	2,50	2,60			
			6,53	6,19	2,51	2,35			
			6,32	5,89	2,52	2,25			
			6,60	6,45	2,28	2,53			
			6,00	6,46	2,25	2,21			
YUANQI ELECTRONIC	6,3	2,4	5,92	6,31	2,37	2,42	2,7	3,8	8,1
			6,23	6,15	2,28	2,55			
			6,26	6,06	2,33	2,52			
			6,27	6,42	2,47	2,50			
			6,42	6,43	2,50	2,49			
			6,00	5,85	2,51	2,49			
			6,33	6,14	2,51	2,44			
			5,98	6,43	2,51	2,29			
WEIDILY	6,3	2,4	6,32	6,45	2,25	2,43	3,2	3,9	8,4
			6,56	6,15	2,35	2,31			
			6,07	6,66	2,58	2,56			
			6,31	6,38	2,50	2,42			
			6,58	6,42	2,29	2,34			
			6,27	6,41	2,49	2,30			
			6,57	5,91	2,35	2,28			
			5,97	6,68	2,51	2,48			

Примечание:  $\delta_v$  – погрешность измеренного значения номинального объема резистора

По упрощенной модели металлический пленочный резистор имеет цилиндрическую форму, и погрешность номинального значения его объема рассчитывается по выражению:

$$\delta_v = \sqrt{4(\delta_D)^2 + (\delta_l)^2}. \quad (7)$$

Средняя погрешность объема резисторов по рынку была рассчитана следующим образом:

$$\delta_{vcp} = \frac{\sum_i^n \delta_{vi}}{n_{ap}}, \quad (8)$$

где  $\delta_{Vi}$  – средняя погрешность объема резисторов одного из рассматриваемых артикулов.

Анализ результатов проведенных расчетов показал, что средняя погрешность объема металлического пленочного резистора по рынку составила 9,3 %. Наиболее низкую погрешность объема имеет продукция производителя *YUANQI ELECTRONIC* (8,1 %).

### Результаты сравнительной оценки погрешности коэффициента напряжения

В зависимости от приложенного напряжения номинальное сопротивление резисторов может изменяться, нарушая тем самым линейность вольтамперной характеристики. Причиной такого эффекта является зависимость концентрации носителей тока и их подвижности от напряженности электрического поля. Эта зависимость обычно не учитывается при разработке приборов. Однако этот показатель играет важную роль в точностных параметрах радиоэлектронных изделий, поэтому необходимо, чтобы он оказывал как можно меньшее влияние. Для оценки степени нелинейности был определен коэффициент напряжения, рассчитываемый как относительное изменение номинала сопротивления резисторов, происходящее при подаче на него испытательных напряжениях, соответствующих 10 и 100 % его номинальной мощности рассеяния (0,025 и 0,25 Ватт). Номиналы сопротивления измерялись с помощью мультиметра СЕМ DT-9918Т (см. рисунок 1).

В таблице 4 приведены результаты измерений и последующих вычислений, проведенных согласно формуле:

$$K = \sum_i^{n_{\text{изм}}} \frac{(R_{2i} - R_{1i})}{R_{1i}} * 100 \%, \quad (9)$$

где  $R_{1i}$ ,  $R_{2i}$  – измеренные значения сопротивления при мощности 10 и 100 % от номинальной.

Среднее значение коэффициента напряжения резисторов по рынку рассчитывалось в соответствии с выражением:

$$K_{\text{ср}} = \frac{\sum_i^n K_i}{n_{\text{арт}}}, \quad (10)$$

где  $K_i$  – коэффициент напряжения резисторов одного из рассматриваемых артикулов.

Анализ результатов расчета показал, что средний коэффициент напряжения металлического пленочного резистора по рынку составил –0,69 %. Наиболее низкое значение коэффициента напряжения имеет продукция производителя *FXI Electronics Corporation* (–0,54 %).



Таблица 4 – Коэффициент напряжения

Производитель	Измеренное значение сопротивления, Ом						Коэффициент напряжения, %
	при напряжении 10 % от максимальной мощности			при напряжении 100 % от максимальной мощности			
	220	1000	10000	220	1000	10000	
FXI Electronics Corporation	219,2	997,4	9937,2	216,4	990,2	9910,1	−0,54
	218,7	992,1	9899,1	214,5	991,1	9890,3	
	218,3	991,4	9969,4	213,8	984,4	9960,7	
	217,9	996,0	9940,3	216,0	994,6	9919,3	
	218,8	987,5	9956,8	218,8	983,3	9916,6	
	218,5	986,3	9924,0	218,5	980,6	9918,2	
	219,0	990,6	9915,2	217,5	985,9	9904,8	
	218,9	993,4	9952,7	216,5	989,8	9932,5	
	219,1	986,3	9976,6	215,6	980,1	9948,9	
	218,7	989,9	9918,8	218,5	983,7	9898,1	
YUANQI ELECTRONIC	219,1	997,3	9959,7	218,1	990,0	9913,2	−0,80
	219,9	996,1	9960,9	216,5	992,9	9914,8	
	219,7	998,4	9977,4	216,8	998,2	9922,5	
	219,2	999,6	9986,5	213,6	998,9	9938,9	
	219,5	996,1	9976,3	218,8	991,2	9972,9	
	219,9	995,1	9990,6	213,4	990,5	9974,4	
	219,3	997,0	9982,0	215,5	994,5	9964,5	
	219,8	995,3	9952,4	213,9	991,9	9961,7	
	219,9	995,7	9980,5	215,0	991,6	9917,3	
	219,9	998,7	9994,6	216,5	991,7	9990,5	
WEIDILY	219,9	994,1	9955,5	215,6	992,5	9948,9	−0,73
	219,8	997,8	9925,9	214,8	996,5	9899,7	
	217,9	992,5	9991,4	213,7	988,3	9984,5	
	219,5	993,9	9966,5	215,9	989,5	9893,3	
	218,7	994,5	9960,8	214,0	991,0	9969,7	
	218,7	998,7	9994,1	216,4	997,6	9984,4	
	219,1	998,5	9998,1	214,5	998,2	9966,8	
	219,4	986,1	9912,4	213,8	985,4	9940,7	
	219,6	988,1	9969,9	215,4	987,5	9919,8	
	220,0	991,4	9960,2	219,9	986,3	9926,6	

### Результаты сравнительной оценки температурного коэффициента сопротивления

Сопротивление резисторов может изменяться под воздействием температуры. ТКС характеризует изменение сопротивления резистора при изменении его температуры на 1 ° К; может иметь решающее значение для приборов всеклиматического исполнения и силовой электроники. В ходе исследования ТКС

были отобраны по 10 резисторов номиналами 220, 1000 и 10000 Ом вышеперечисленных производителей. Измерения проводились при комнатной температуре +24 °С и уличной температуре +4 °С.

В таблице 5 приведены результаты измерений и последующих вычислений согласно формулам (11 и 12).

Таблица 5 – ТКС резистора

Производитель	$R_{+24}, \text{Ом}$			$R_{i+4}, \text{Ом}$			ТКС резисторов по номиналам, % / °С			ТКС <sub>ср</sub> , % / °С
	220	1000	10000	220	1000	10000	220	1000	10000	
FXI Electronics Corporation	219,2	997,4	9937,2	218,2	990,2	9910,1	0,018	0,015	0,0095	0,014
	218,7	992,1	9899,1	218,3	991,1	9890,3				
	218,3	991,4	9969,4	217,6	989,4	9960,7				
	217,9	996	9940,3	217,8	988,2	9919,3				
	218,8	987,5	9956,8	218,8	993,3	9916,6				
	218,5	986,3	9924,0	218,5	986,6	9918,2				
	219	990,6	9915,2	217,3	988,6	9904,8				
	218,9	993,4	9952,7	218,3	982,4	9932,5				
	219,1	986,3	9976,6	218,4	985,1	9948,9				
	218,7	989,9	9918,8	216,3	983,7	9898,1				
YUANQI ELECTRONIC	218,13	990,29	9959,7	216,4	995,1	9948,9	0,014	0,011	0,009	0,011
	217,88	996,11	9960,9	217,6	991,8	9989,7				
	218,65	991,39	9977,4	217,5	988,3	9910,2				
	219,2	997,55	9986,5	218,7	989,1	9993,3				
	218,48	996,11	9976,3	217,8	993,6	9969,7				
	218,86	995,09	9990,6	217,2	995,2	9910,1				
	218,27	996,95	9982	218,3	990,8	9969,6				
	219,8	995,29	9952,4	218,6	995,4	9970,7				
	218,89	995,68	9980,5	219,2	989,5	9959,8				
	217,85	992,66	9994,6	218,3	996,3	9966,6				
WEIDILY	218,88	994,08	9955,5	217,2	995,2	9910,1	0,014	0,008	0,013	0,012
	219,77	997,82	9925,9	218,3	990,8	9969,6				
	217,91	992,48	9991,4	218,6	995,4	9970,7				
	218,52	993,88	9966,5	219,2	989,5	9959,8				
	218,66	994,53	9960,8	218,3	996,3	9966,6				
	218,7	998,71	9994,1	218,2	990,2	9910,1				
	219,06	998,47	9998,1	218,3	991,1	9890,3				
	218,4	986,13	9912,4	217,6	989,4	9960,7				
	219,62	988,06	9969,9	217,8	988,2	9919,3				
	218,96	991,42	9960,2	218,8	993,3	9916,6				

$$\text{TKC} = \frac{\sum_i^n R_{+24i} - \sum_i^n R_{i+4i}}{n_{\text{рез}} * R_{\text{ном}} * \Delta T} * 100\%, \quad (11)$$

$$TKC_{cp} = \frac{TKC_{220} + TKC_{1000} + TKC_{10000}}{3}, \quad (12)$$

где  $R_{+24i}$ ,  $R_{+4i}$  – сопротивления резистора при температуре  $+24^{\circ}\text{C}$  и  $+4^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T$  – интервал температуры;  $n_{рез}$  – количество резисторов каждого номинала каждого производителя в исследовании;  $TKC_{cp}$  – среднее значение ТКС;  $TKC_{220}$ ,  $TKC_{1000}$  и  $TKC_{10000}$  – средние значения температурного коэффициента сопротивления резисторов номиналами 220, 1000 и 10000 Ом.

Среднее значение ТКС резисторов по рынку рассчитывалось по формуле:

$$TKC_{общ} = \frac{\sum_i^n TKC_{срi}}{n_{арт}}, \quad (13)$$

где  $TKC_{срi}$  – температурный коэффициент сопротивления резисторов одного из рассматриваемых артикулов.

Анализ результатов расчета показал, что средний ТКС металлического пленочного резистора по рынку составил 0,012 % / C. Наиболее низкое среднее значение ТКС имеет продукция производителя *YUANQI ELECTRONIC* (0,011 % / C).

### Результаты формирования обобщенного показателя

Для определения наилучшего производителя металлических пленочных резисторов было произведено ранжирование рассчитанных ранее показателей, от наиболее предпочтительного к наименее. За наиболее предпочтительное значение сравнительного параметра, металлическим пленочным резисторам производителя начислялось 3 балла, за наименее предпочтительное – 1 балл. В таблице 6 приведены результаты ранжирования.

Таблица 6 – Обобщенный показатель привлекательности резистора

Производитель	Ценовой показатель	Показатель погрешности		Показатель		Обобщенный показатель
		сопротивления	объема	коэффициента напряжения	ТКС	
<i>FXI Electronics Corporation</i>	1	1	1	3	1	7
<i>YUANQI ELECTRONIC</i>	2	3	3	1	3	12
<i>WEIDILY</i>	3	2	2	2	2	11

Обобщенный показатель привлекательности продукции был рассчитан по выражению:

$$P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (14)$$

где  $n$  – количество рассматриваемых сравнительных параметров;  $P_i$  –  $i$ -й сравнительный параметр.

Наибольший обобщенный показатель привлекательности имеют металлические пленочные резисторы производителя *YUANQI ELECTRONIC* (12).

### Вывод

Разработанная методика позволяет сопоставлять особенности металлических пленочных резисторов при помощи сравнительных параметров и обобщенного показателя привлекательности. Элементом новизны представленного исследования является анализ габаритных параметров и коэффициента напряжения.

В ходе апробации методики предоставлены результаты сравнительного анализа резисторов трех коммерческих компаний по следующим параметрам: стоимость, номинал сопротивления, погрешность габаритов, коэффициент напряжения и температурный коэффициент сопротивления.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Во-первых, резисторы *YUANQI ELECTRONIC* имеют наилучшую погрешность номинала сопротивления (0,24 %), погрешность габаритов (8,1 %) и температурный коэффициент сопротивления (0,011 % / °C). Во-вторых, резисторы *FXI Electronics Corporation* имеют более низкий обобщенный показатель привлекательности (7), однако обладают преимуществом в коэффициенте напряжения (–0,54 %). Эти резисторы предпочтительно использовать в приборах силовой электроники, мощность которых может изменяться в широких пределах, оказывая различное влияние на резистивность металлических пленок. В-третьих, резисторы *WEIDILY* обладают преимуществом в стоимости (0,55 руб. за одну единицу на момент покупки).

По результатам анализа резисторы *YUANQI ELECTRONIC* имеют наибольший обобщенный показатель привлекательности (12), т. е. являются самым оптимальным выбором для приборостроения из всех выбранных моделей.

### Литература

1. Попыгин И. А., Китаев А. С., Головяшкин А. Н., Баннов В. Я. Тонкопленочные резисторы: структура, параметры, изготовление // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 2. С. 87–89. EDN: LKVLLG
2. Сокуренок В. А., Парначев В. П., Каршиев Е. К. Сравнительный анализ тепловых характеристик низкоомных нагрузочных резисторов, изготовленных с применением высокотеплопроводной керамики из AlN // XVII Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления»: материалы докладов (17–19 ноября 2021 г., Томск). Томск: В-Спектр, 2021.

3. Rhan J. Derating Tantalum Capacitors Depends On The Cathode System // Vishay. 2024. URL: <https://www.vishay.com/docs/40292/deratantcapsdeponcathsys.pdf> [Accessed 08.09.24]

4. ГОСТ 24238–84. Резисторы. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1987.

5. Борисов Ю. М., Липатов Д. Н., Зорин Ю. Н. Электротехника. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Славгородский А. Анализ запросов, посвященных пассивным электронным компонентам // Компоненты и технологии. 2013. № 7(144). С. 44–45. EDN: QBWYUL

Статья поступила 04 ноября 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 12 декабря 2024 г.  
Принята к публикации 23 декабря 2024 г.

### Информация об авторах

*Оглуздин Семен Сергеевич* – студент кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. E-mail: [semogluzd@gmail.com](mailto:semogluzd@gmail.com)

*Ким Владислав Алексеевич* – студент кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. E-mail: [kim-v-a02@mail.ru](mailto:kim-v-a02@mail.ru)

*Погорелов Андрей Анатольевич* – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. E-mail: [anpog@yandex.ru](mailto:anpog@yandex.ru)  
<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-2-48-61>  
EDN: JJYBNL

## Analysis of Parameters of Metal Film Resistors Used in Instrument Engineering

S. S. Ogluzdin<sup>1</sup>✉, V. A. Kim<sup>1</sup>, A. A. Pogorelov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
St. Petersburg, 190000, Russian Federation

<sup>2</sup>Military Academy of Communications,  
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

**Purpose** search and selection of metal film resistors of large commercial companies; determination of parameters of resistors significant for instrument engineering; study of existing literature data on methods of evaluation of such parameters; calculation of attractiveness indicators of metal film resistors of each manufacturer for each selected parameter, calculation of a complex indicator of attractiveness, analysis of the obtained results. The aim of the work is to provide the results of a comparative analysis of resistors of three commercial companies by the following parameters: cost, resistance rating, dimensional error, voltage coefficient and temperature coefficient of resistance. **Methods used:** comparison of resistors by summing up the ranked indicators. **Novelty:** an element of novelty of the presented study is the analysis of dimensional parameters and voltage coefficient. **Result:** YUANQI ELECTRONIC resistors have the highest general attractiveness index. They are the most optimal choice for instrumentation of all the selected models, and also have the best resistance rating error, dimensional error, and temperature coefficient of resistance. FXI Electronics Corporation resistors have a lower general attractiveness index, but have an advantage in the voltage coefficient. These resistors should be used in power electronics devices. The power of which can vary widely, and thus have a different effect on the resistivity of metal films. WEIDILY resistors have an advantage in cost. **Theoretical / Practical significance:** The presented comparison is proposed to be used when choosing a manufacturer of metal film resistors for instrumentation. Also, the calculated general attractiveness indices will allow you to make decisions about purchasing the resistors selected for the study, comparing with other resistor manufacturers, conducting your own research, improving the quality of metal film resistors and identifying weaknesses.

**Key words:** values of resistor parameters, measurement of resistor nominal, general parameter, metallic film resistors, voltage coefficient

### Information about Authors

Ogluzdin Semyon Sergeevich – student at the Department of Design and Technology of Electronic and Laser Equipment (Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation). E-mail: [semogluzd@gmail.com](mailto:semogluzd@gmail.com)

Kim Vladislav Alekseevich – student at the Department of Design and Technology of Electronic and Laser Equipment (Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation). E-mail: [kim-v-a02@mail.ru](mailto:kim-v-a02@mail.ru)

Pogorelov Andrey Anatolyevich – PhD in Engineering, Associate Professor, Professor at the Radiocommunications Department (Military Academy of Communications). E-mail: [anpog@yandex.ru](mailto:anpog@yandex.ru)