

С.Н. ДАНИЛИН, М.В. МАКАРОВ,  
С.А. ЩАНИКОВ

**Исследование коэффициентов  
влияния погрешностей элементов  
нейронов на показатели ТОЧНОСТИ  
(качества) работы устройств с  
нейросетевой архитектурой**

УДК 621

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича  
Столетовых», г. Муром

*Работа выполнена при поддержке гранта  
РФФИ № 11-08-97551.*

*Реализован теоретико-  
экспериментальный алгоритм определения  
коэффициентов влияния погрешностей  
элементов нейронов на показатели каче-  
ства работы устройств с нейросетевой  
архитектурой. Исследованы коэффициен-  
ты влияния погрешностей параметров  
элементов нейронов на показатели точно-  
сти (качества) работы устройств с  
нейросетевой архитектурой.*

*Realized an experimental-theoretical algorithm  
to determine the coefficients of influence of er-  
rors on neuronal elements of the quality of the  
devices with neural network architecture. Inves-  
tigated the influence coefficients of error of pa-  
rameters of elements of neurons in the  
measures of accuracy (quality) of the devices  
with neural network architecture*

Обеспечение точности работы технических средств, реализующих любые алгоритмы обработки информации, сводится к определению и согласованию между собой допусков на их элементы и структуры и проверке обеспечения заданных допусков на выходные параметры. Для расчета допусков необходимо определить коэффициенты влияния погрешностей элементов технических средств или

структур на погрешности выходных параметров (показатели точности или качества работы).

Из известных методов определения коэффициентов влияния при расчете допусков наибольшее распространение получили расчетно-аналитический и экспериментальные методы [1]. Для применения расчетно-аналитического метода необходимо знать или определить аналитические зависимости параметров качества работы от параметров структур или элементов устройств.

Нейронные сети являются сложными многосвязными структурами и не поддаются строгому аналитическому описанию [2]. Еще одной особенностью нейронных сетей является отсутствие априорной информации о параметрах каждого из нейронов (весовые коэффициенты, функции активации, смещения) до окончания процесса обучения, имеющего бесконечное множество результатов. Эти обстоятельства принципиально исключают априорное определение точности (качества) функционирования в пределах заданных допусков необученной нейронной сети.

При аппаратной реализации нейросетевого алгоритма, в частности на базе программируемых логических интегральных схем, возникают дополнительные ограничения по разрядности, времени обработки, стоимости технических средств, которые могут приводить к существенным ошибкам в аналитических расчетах оптимальной точности и функциональных допусков проектируемого объекта.

В работе [3] предложен теоретико-экспериментальный метод определения точности работы устройств с нейросетевой архитектурой, а в работе [4] - алгоритм определения коэффициентов влияния погрешностей элементов нейронов на показатели качества работы устройств с нейросетевой архитектурой. Результаты вышеназванных работ показали необходимость дополнительных исследований коэффициентов влияния для определения возможностей использования классических методов анализа и синтеза функциональных допусков нейронных сетей.

Для решения поставленной задачи на математических моделях специализированных вычислительных устройств с обученными нейронными сетями [5] было проведено численное определение коэффициентов влияния погрешностей элементов нейронов на пока-





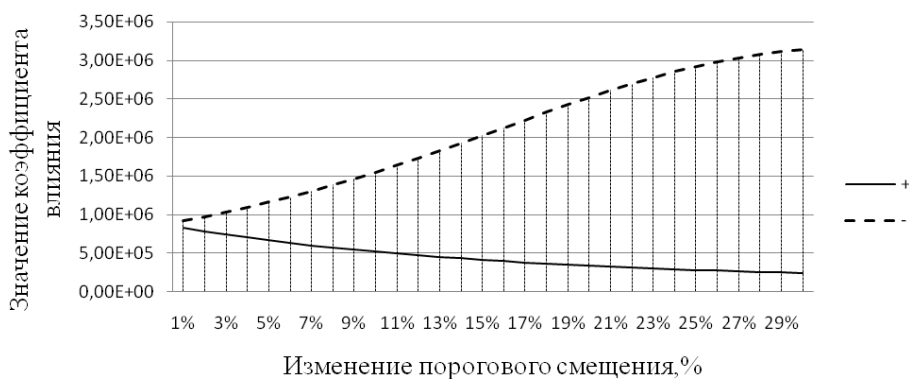
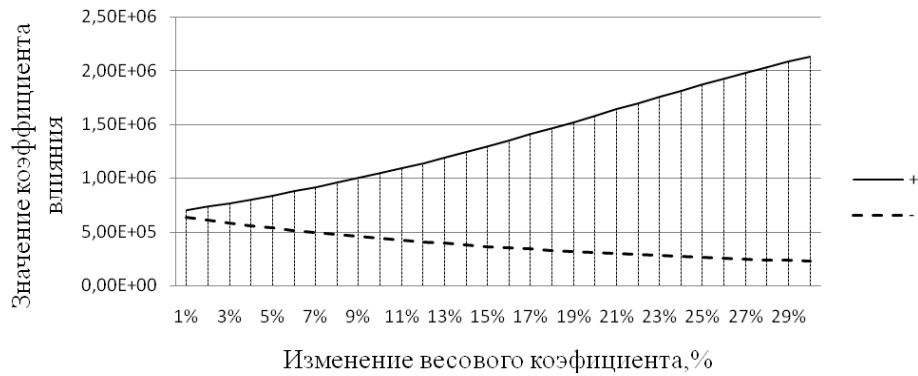
		-	2,44E+06	2,44E+06	2,44E+06	2,44E+06	2,44E+06	2,44E+06	2,44E+06	
		5	+	3,72E+02	3,72E+02	3,72E+02	3,72E+02	3,72E+02	3,72E+02	3,72E+02
			-	3,17E+02	3,61E+02	3,66E+02	3,68E+02	3,69E+02	3,70E+02	3,70E+02
		6	+	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07
			-	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07	1,13E+07
		7	+	1,70E+02	1,82E+02	1,83E+02	1,84E+02	1,84E+02	1,84E+02	1,84E+02
		-	6,53E+01	1,47E+02	1,66E+02	1,72E+02	1,75E+02	1,77E+02	1,78E+02	
	b{2,1}	1	+	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06
		-	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	4,76E+06	

Таблица 3

**Значения коэффициентов влияния погрешностей элементов нейронов на точность работы нейронной сети, реализующей функцию  $y = \sqrt{x}$**

			Изменение параметра нейрона							
			1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
Первый слой нейронной сети	Весовые коэффициенты $w_{\{1,1\}}$	1	+	0,000	23,695	33,748	37,145	38,879	39,947	40,682
			-	0,000	23,479	33,425	36,692	38,289	39,218	39,812
		2	+	0,000	3,544	12,987	15,795	16,963	17,489	17,704
			-	0,000	4,742	15,404	19,442	21,860	23,665	25,197
		3	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610	1,487	2,037
			-	0,000	0,000	0,000	0,000	1,843	3,051	3,940
		4	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,335	
	5	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	6	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	7	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Пороговые смещения $b_{\{1,1\}}$	1	+	128,390	199,400	207,500	208,890	208,560	207,530	206,130	
		-	206,180	207,830	214,900	219,940	223,260	225,840	228,030	
	2	+	215,890	202,390	187,000	173,100	160,540	149,200	138,940	
		-	145,920	222,740	251,300	276,920	303,650	332,430	363,680	
	3	+	68,177	62,884	57,006	51,848	47,314	43,321	39,796	
		-	-6,192	61,571	77,996	90,571	103,280	117,100	132,500	
	4	+	27,726	26,000	24,031	22,252	20,645	19,191	17,876	
		-	-28,643	14,846	25,194	30,701	35,214	39,532	43,936	
	5	+	-0,639	-0,636	-0,632	-0,627	-0,623	-0,618	-0,614	
		-	0,641	0,644	0,648	0,652	0,656	0,660	0,663	
	6	+	-0,802	-0,792	-0,779	-0,767	-0,754	-0,741	-0,729	
		-	0,807	0,817	0,829	0,842	0,854	0,866	0,878	
	7	+	29,788	26,055	22,236	19,163	16,672	14,638	12,964	
		-	-31,927	14,342	30,772	43,424	56,843	74,700	96,759	
Второй слой нейронной сети	Весовые коэффициенты $w_{\{2,1\}}$	1	+	307,830	329,960	339,940	343,270	344,930	345,930	346,590
			-	249,740	329,880	339,900	343,240	344,910	345,910	346,580
		2	+	-11,960	49,616	57,313	59,878	61,161	61,931	62,444
			-	65,060	65,060	65,060	65,060	65,060	65,060	65,060
		3	+	1153,300	1153,300	1160,000	1163,300	1164,900	1165,900	1166,600
			-	1076,400	1149,900	1159,900	1163,300	1164,900	1165,900	1166,600
		4	+	-8,391	-7,103	0,594	3,160	4,442	5,212	5,725
			-	8,391	8,391	8,391	8,391	8,391	8,391	8,391
		5	+	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282
			-	-1,282	-1,282	-1,282	-1,282	-1,028	-0,030	0,634
		6	+	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891
			-	-0,891	-0,891	-0,891	-0,891	-0,891	-0,184	0,477
		7	+	-4,442	-4,442	-4,394	-1,777	-0,431	0,377	0,915

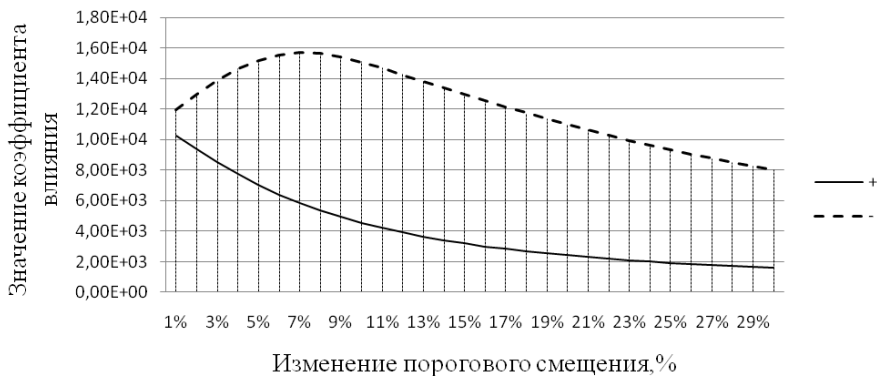
b{2,1}	1	-	4,442	4,442	4,442	4,442	4,442	4,442	4,442
		+	1307,4	1369	1376,7	1379,3	1380,5	1381,3	1381,8
		-	1384,4	1384,4	1384,4	1384,4	1384,4	1384,4	1384,4



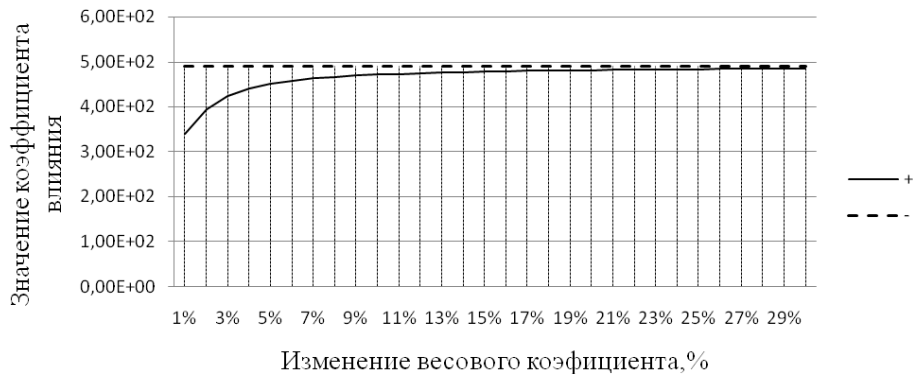
а)

б)

а) 1-го слоя; б) 2-го слоя; нейронной сети, реализующей функцию  $y = e^x$ .  
Рис. 1. Графики изменения коэффициентов влияния параметров нейрона

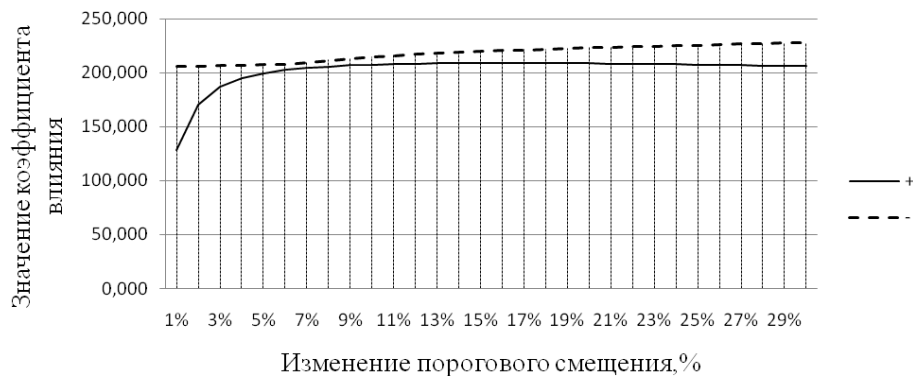
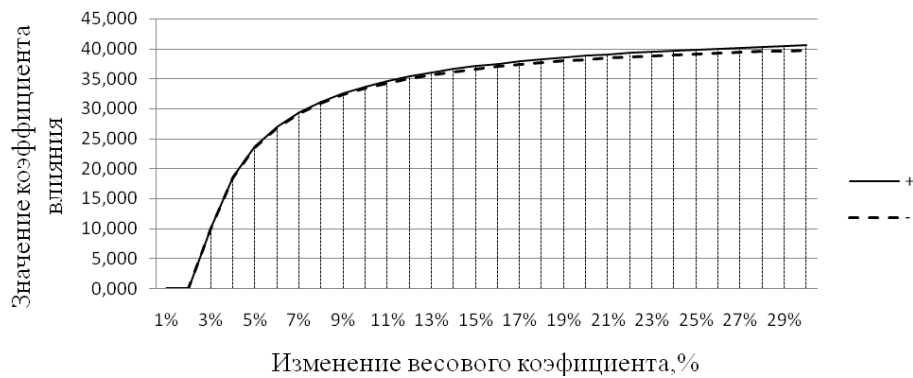


а)

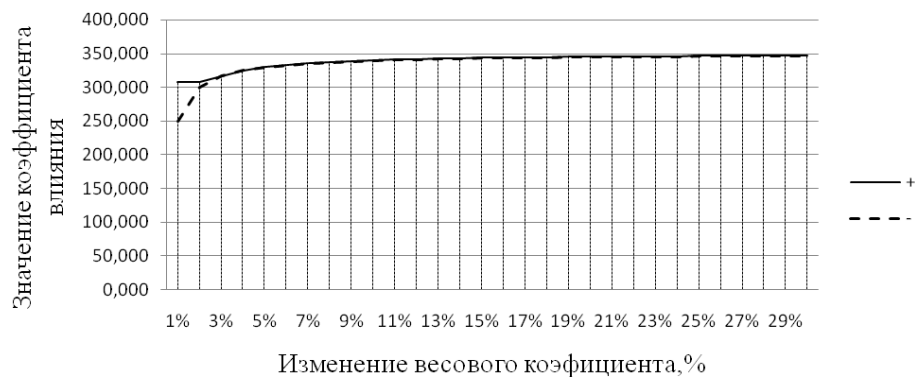


б)

а) 1-го слоя; б) 2-го слоя; нейронной сети, реализующей функцию  $y = \sin x$   
 Рис. 2. Графики изменения коэффициентов влияния параметров нейрона



а)



б)

а) 1-го слоя; б) 2-го слоя; нейронной сети, реализующей функцию  $y = \sqrt{x}$   
 Рис. 3. Графики изменения коэффициентов влияния параметров нейрона



Анализ полученных результатов показывает, что коэффициенты влияния параметров элементов нейронов различаются между собой во много раз по каждому нейрону сети. Коэффициенты влияния в общем случае являются нелинейными функциями от значения погрешностей элементов и структур. Последнее обстоятельство затрудняет анализ и синтез допусков классическими методами для элементов любых технических средств реализации нейронных сетей и предполагает необходимость разработки численных методов их определения для нейронных сетей произвольной конфигурации и назначения.

Проведенные исследования показали эффективность предложенного авторами теоретико-экспериментального подхода к определению точности (качества) работы и функциональных допусков нейронных сетей, а также перспективность развития данного направления теории нейронных сетей.

### Литература

1. *Фомин А.В.* Допуски в радиоэлектронной аппаратуре. -М.: «Сов. Радио», 1973. -128с.
2. *Галушкин А.И.* Теория нейронных сетей. – М.: ИПРЖР, 2000.- 416 с.
3. *Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А.* Метод определения точности работы устройств с нейросетевой архитектурой. Методы и устройства передачи и обработки информации, 2010, вып 12. с.68-70.
4. *Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А.* Алгоритм определения коэффициентов влияния погрешностей элементов нейронов на показатели качества работы устройств с нейросетевой архитектурой. Методы и устройства передачи и обработки информации, 2011, №1 вып 13. с.114-118.
5. *Данилин С.Н., Макаров М.В., Щаников С.А.* Аппроксимация базовых математических функций с использованием нейросетевых алгоритмов. «Наука и инновация – 2009». Материалы V Международной научно-практической конференции. г. Пшемысль (Польша), 7-15 октября 2009 г. – Пшемысль: Наука и исследования, 2009 г. – Т.12. стр. 4-9.
6. *Данилин С.Н.* Системные проблемы современного понятия информации. Методы и устройства передачи и обработки информации: Межвуз. сборн. науч. тр. / Под ред. В.В. Ромашова. – С.-Петербург: Гидрометеоздат, 2001. – с.172-176.

E-MAIL: NAUKA-MUROM@YANDEX.RU