

УДК 620.1.08

А.В. ЧУМАЧЕНКО<sup>1</sup>, С.Н. ФИРСОВ<sup>2</sup>, Е.Ю. ГОЛУБ<sup>1</sup><sup>1</sup> НПП «Хартрон-Аркас», Украина<sup>2</sup> Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ РАДИОПОМЕХ АППАРАТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Проводится исследование закона распределения промышленных радиопомех. Получены значения напряжений и напряжённостей, создаваемых промышленными радиопомехами. Проведён анализ полученных результатов с применением статистических методов обработки результатов экспериментов. Определена функциональная зависимость величин промышленных радиопомех от влияющих на процесс измерения факторов. Построена экспериментальная гистограмма, отображающая частоту появления величин напряжения либо напряжённости соответственно, и моделирующая закон распределения промышленных радиопомех. Оценены основные параметры, позволяющие отнести закон распределения к нормальному (гауссовому): расчётные значения *d*-критерия смещённости, *A*-критерия асимметрии, *E*-критерия эксцесса. Проведён анализ соответствия экспериментальной и теоретической гистограммы. На основе полученных результатов и проведенных оценок принят вывод о законе распределения напряжения и напряжённости, создаваемых промышленными радиопомехами.*

**Ключевые слова:** промышленные радиопомехи, случайная величина, закон распределения, метод наименьших квадратов, отклонение, среднее арифметическое значение, среднеквадратическое отклонение, гистограмма, нормальное распределение.

### Введение

Промышленные радиопомехи (ИРП) представляют собой электромагнитное явление, которое способно ухудшать работу оборудования и канала передачи данных аппаратуры системы управления, спектральные составляющие которого находятся в полосе радиочастот. Источниками ИРП являются электрические и электронные устройства [1].

Образование ИРП может быть связано с резким изменением тока или напряжения в электрических цепях при переключениях со статическими разрядами между отдельными частями устройств, находящимися под различным потенциалом, либо с излучением на радиочастотах, не выделенных для работы в соответствии с регламентом радиосвязи. ИРП, попадая на чувствительные элементы радиоэлектронной аппаратуры (через общую электрическую сеть питания либо через антенну), мешают её нормальной работе – вызывают искажение получаемой информации или её полный сбой [2].

При испытаниях технических средств на ИРП измеряют напряжение, напряжённость поля, мощность и силу тока ИРП. Результаты измерений выражают соответственно в децибелах относительно 1 мкВ, 1 мкВ/м, 1 пВт, 1 мкА. Нормы на ИРП должны быть указаны в ГОСТах и ОСТах на ИРП. Значение ИРП не должно превышать нормы на всех частотах в пределах установленной полосы [3].

Совокупность измеренных значений промышленных радиопомех представляет собой случайный процесс, в результате которого получают значения случайных величин для каждой частоты. Согласно [4] статистическое значение радиопомех *A* определяют по формуле:

$$A = \bar{X} + kS, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – выборочное среднее арифметическое значение (САЗ) результатов измерений радиопомех (напряжений, напряжённости поля, мощности или силы тока), дБ, равно  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ ;

*S* – выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов измерений, дБ, равно для

нормального распределения  $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ ;

$X_i$  – результат измерения радиопомех в контрольной точке частоты;

*n* – число измерений;

*k* – коэффициент, зависящий от *n* числа измерений и *P* – доверительной вероятности того, что не менее 99 % измеренных значений соответствуют нормируемому значению радиопомех.

При расчёте основных оценок результатов измерений радиопомех необходимо учитывать закон распределения ИРП.

Закон распределения случайной величины

представляет собой правило, выраженное в аналитической, графической, табличной и иной формах, которое позволяет определить вероятность появления различных событий, связанных с этой случайной величиной. Закон распределения показывает, как на числовой оси распределена частота появления данной случайной величины.

Среди всех случайных процессов особое место занимает процесс с нормальным распределением (гауссов процесс). Данное распределение встречается в природе и технике наиболее часто, поэтому и называется нормальным. Это обстоятельство находит себе объяснение в известной теореме Ляпунова, согласно которой распределение суммы независимых случайных величин (при некоторых достаточно широких условиях) сходится к нормальному, вне зависимости от характера распределения слагаемых.

Особенностью нормального распределения является то, что оно возникает при воздействии на рассматриваемый объект множества независимых факторов.

Случайный процесс  $x(t)$  называется гауссовым, если для любого набора фиксированных моментов времени  $t_n$  случайные величины  $x_n$  подчиняются нормальному распределению. Плотность вероятностей мгновенных значений  $x(t)$  гауссова процесса определяется выражением [5]:

$$\omega(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где  $x$  – значение случайной величины;

$\mu$  – среднее значение;

$\sigma^2$  – стандартное отклонение.

В современных условиях при проведении испытаний аппаратуры на помехоустойчивость или помехообразование необходимо постоянно проверять соответствие экспериментально полученного закона распределения ИРП нормальному. В случае несоответствия данных законов устанавливается вид распределения, проводится оценка основных показателей величин измеренных напряжений и напряжённостей, создаваемых ИРП, и принимается решение о методах обработки результатов замеров ИРП.

### 1. Обработка результатов измерения промышленных радиопомех

С целью определения закона распределения промышленных радиопомех были проведены измерения величин напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП, для информационного табло и электромагнитного реле аппаратуры системы управления (рис. 1–4).

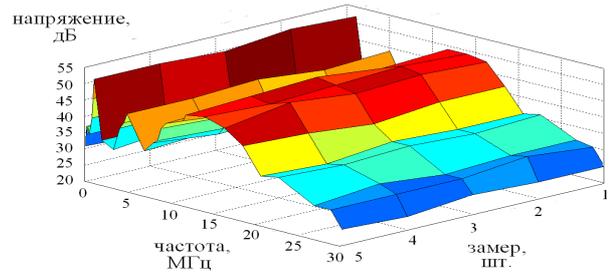


Рис. 1. Результаты измерения напряжения для информационного табло

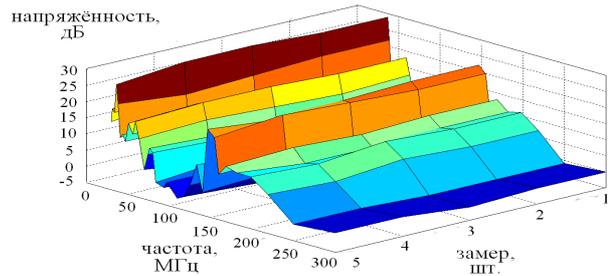


Рис. 2. Результаты измерения напряжённости для информационного табло

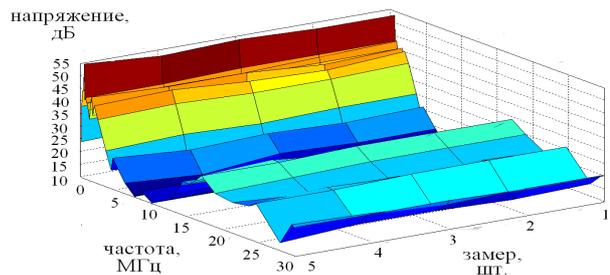


Рис. 3. Результаты измерения напряжения для электромагнитного реле

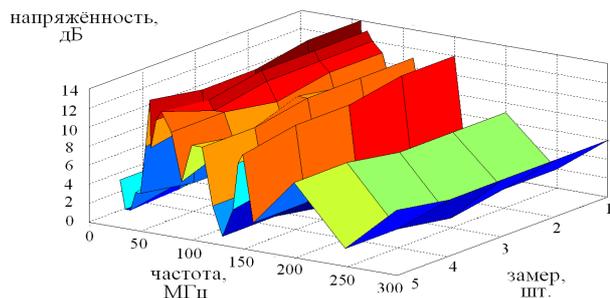


Рис. 4. Результаты измерения напряжённости для электромагнитного реле

При измерениях ИРП значительную роль играют случайные погрешности. Для уменьшения случайной составляющей погрешности необходимо увеличивать количество измерений. С учётом условий эксплуатации испытуемой аппаратуры для измерения напряжения и напряжённости целесообразно

но проводить пять измерений в каждой контрольной точке частоты, на которой наблюдается максимальное значение напряжения. Измерения напряжения относятся к прямым измерениям, напряжённости – к косвенным. Напряжённость представляет собой функцию от напряжения и коэффициента антенны. Определение оценок напряжённости связано с обработкой результатов прямых многократных измерений напряжения и коэффициента антенны.

Поскольку значения напряжения и напряжённости зависят от частоты, на которой проводится измерение, то для получения комплексной оценки всех полученных результатов измерения напряжения и напряжённости по всем частотам необходимо проводить анализ не самих измеренных значений, а их отклонений от САЗ (рис. 5–8).

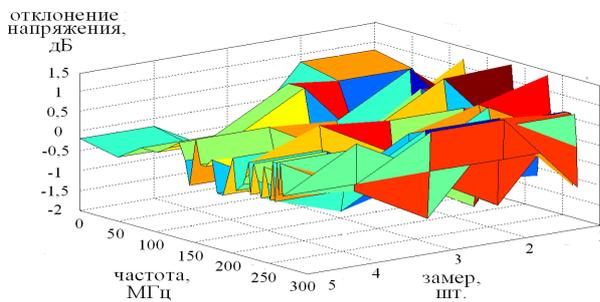


Рис. 5. Отклонения результатов измерения напряжения для информационного табло

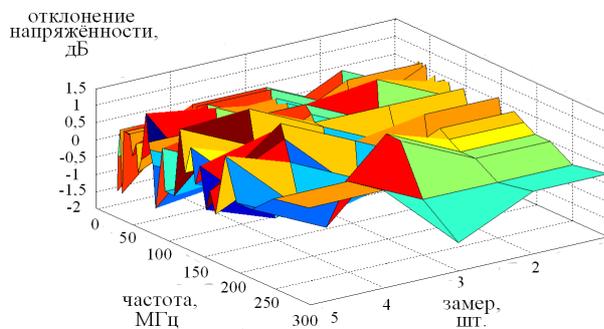


Рис. 6. Отклонения результатов измерения напряжённости для информационного табло

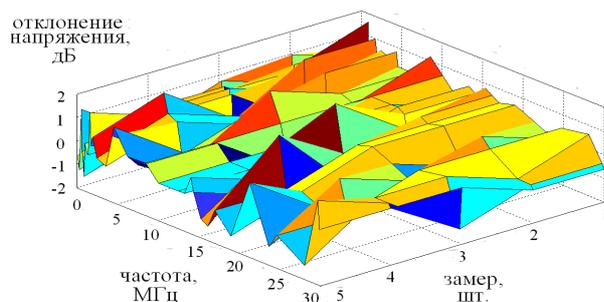


Рис. 7. Отклонения результатов измерения напряжения для электромагнитного реле

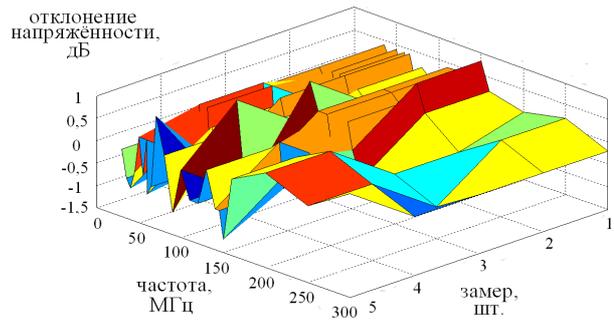


Рис. 8. Отклонения результатов измерения напряжённости для электромагнитного реле

Для определения отклонений проводится расчёт САЗ, представляющего собой наиболее вероятное значение величины.

САЗ результатов измерения напряжения может быть определено по формуле:

$$\bar{U}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1, j=1}^{n, N} U_{ij}, \quad (3)$$

где  $U$  – результаты измерения напряжения, дБ;

$i$  – значение напряжения в одной контрольной точке частоты;

$j$  – контрольная точка частоты, на которой проводят измерение;

$n$  – количество измерений в одной контрольной точке частоты, шт.;

$N$  – количество контрольных точек частоты, шт.

САЗ результатов измерения напряжённости может быть определено по формуле:

$$\bar{H}_j = \bar{U}_j + K_A, \quad (4)$$

где  $K_A$  – коэффициент антенны, дБ.

Проверка результатов измерения на наличие грубых ошибок (промахов) осуществляется по критерию «трёх сигм». Абсолютное максимальное значение отклонения сравнивается с СКО: если  $|\vartheta_{ij\max}| < 3 \cdot S_j$ , то грубой ошибки нет, если  $|\vartheta_{ij\max}| \geq 3 \cdot S_j$ , то есть грубая ошибка. Грубые ошибки исключаются из опытов.

СКО результатов измерения напряжения может быть определено по формуле:

$$S_j(U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1, j=1}^{n, N} \vartheta_{ij}^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где  $\vartheta$  – отклонение результатов измерения напряжения от САЗ, дБ.

СКО результатов измерения напряжённости может быть определено по формуле:

$$S_j(H) = S_j(\bar{H}_j) \cdot \sqrt{n}; \quad (6)$$

$$S_j(\bar{H}_j) = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial \bar{U}} \cdot S(\bar{U}_j)\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial K_A} \cdot S(K_{A_j})\right)^2}, \quad (7)$$

где  $S(\bar{H})$  – СКО среднего значения напряжённости, дБ/м;

$S(\bar{U})$  – СКО среднего значения напряжения, дБ,

равное  $S_j(\bar{U}_j) = \frac{S_j(U)}{\sqrt{n}}$ ;

$S(K_A) = 0$  дБ/м – СКО коэффициента антенны.

В результате обработки результатов измерения грубых ошибок по критерию «трёх сигм» не обнаружено.

Значения максимальных отклонений, САЗ, СКО измерения напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП, для информационного табло и электромагнитного реле приведены на рис. 9.

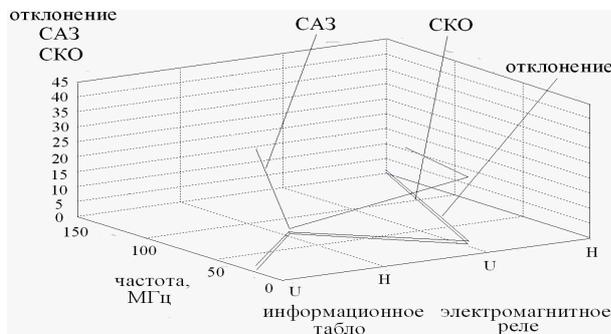


Рис. 9. Значения максимальных отклонений, САЗ, СКО измерения напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП, для информационного табло и электромагнитного реле

## 2. Определение вида уравнения процесса измерения промышленных радиопомех

Для определения вида уравнения, описывающего зависимость результатов измерения напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП, от влияющих на измерительный процесс факторов и частоты, используется метод наименьших квадратов. Степень влияния факторов и частоты на измерительный процесс может быть оценена путём определения коэффициентов уравнения регрессии.

Для определения функциональной связи между рассматриваемыми величинами необходимо установить вид степенного полинома, описывающего данную зависимость. Полином представляет собой линейную зависимость  $y = a + bx$ . В этом случае, составляется система нормальных уравнений, решив которую, находятся искомые неизвестные  $a$  и  $b$ :

1) для процесса измерения напряжений, создаваемых ИРП:

$$\begin{cases} [1 \cdot 1] \cdot a + [1 \cdot F] \cdot b = [1 \cdot \bar{U}]; \\ [1 \cdot F] \cdot a + [F \cdot F] \cdot b = [F \cdot \bar{U}], \end{cases} \quad (8)$$

где  $F$  – значение частоты, на которой проводят измерение, МГц;

$\bar{U}$  – САЗ напряжения, дБ;

2) для процесса измерения напряжённости, создаваемых ИРП:

$$\begin{cases} [1 \cdot 1] \cdot a + [1 \cdot F] \cdot b = [1 \cdot \bar{H}]; \\ [1 \cdot F] \cdot a + [F \cdot F] \cdot b = [F \cdot \bar{H}], \end{cases} \quad (9)$$

где  $F$  – значение частоты, на которой проводят измерение, МГц;

$\bar{H}$  – САЗ результатов измерения напряжённости, дБ/м.

Таким образом, решение систем нормальных уравнений методом определителей позволяет найти искомый вид уравнений, описывающих измерительные процессы:

1) измерение напряжений, создаваемых ИРП, для информационного табло:

$$\begin{cases} 28 \cdot a + 266,23 \cdot b = 1088,8; \\ 266,23 \cdot a + 4880,47 \cdot b = 9892,3; \end{cases} \quad (10)$$

$$\bar{U} = a + b \cdot F = 40,75 - 0,2 \cdot F; \quad (11)$$

2) измерение напряжённости, создаваемых ИРП, для информационного табло:

$$\begin{cases} 33 \cdot a + 3510,8 \cdot b = 339,4; \\ 3510,8 \cdot a + 523802,72 \cdot b = 28180,82; \end{cases} \quad (12)$$

$$\bar{U} = a + b \cdot F = 15,9 - 0,05 \cdot F; \quad (13)$$

3) измерение напряжений, создаваемых ИРП, для электромагнитного реле:

$$\begin{cases} 36 \cdot a + 339,82 \cdot b = 1011,4; \\ 339,82 \cdot a + 6437,35 \cdot b = 7295,59; \end{cases} \quad (14)$$

$$\bar{U} = a + b \cdot F = -34,68 + 0,7 \cdot F; \quad (15)$$

4) измерение напряжённости, создаваемых ИРП, для электромагнитного реле:

$$\begin{cases} 22 \cdot a + 2484 \cdot b = 163,2; \\ 2484 \cdot a + 376606 \cdot b = 16567,4; \end{cases} \quad (16)$$

$$\bar{U} = a + b \cdot F = 9,6 + 0,16 \cdot F. \quad (17)$$

Полученные уравнения позволяют математически описать весь измерительный процесс и определить значение напряжения либо напряжённости, создаваемых ИРП, в любой точке частотного диапазона.

## 3. Построение экспериментальной гистограммы закона распределения промышленных радиопомех

Закон распределения ИРП определяется путём построения экспериментальной гистограммы, которая представляет собой геометрическое изображение

ние в виде ступенчатой функции.

По внешнему виду экспериментальной гистограммы можно судить о законе распределения ИРП. При построении гистограммы по оси абсцисс откладываются значения отклонений, а по оси ординат – частоты появления отклонений. При этом определяются следующие показатели [6]:

1) суммарное количество измерений, проведенных для рассматриваемого прибора;

2) количество интервалов гистограммы;

3) минимальное отклонение полученных результатов измерения;

4) максимальное отклонение полученных результатов измерения;

5) диапазон измерения:

$$Q = \vartheta_{\max} - \vartheta_{\min}, \quad (18)$$

где  $\vartheta_{\min}$  – минимальное отклонение полученных результатов измерения;

$\vartheta_{\max}$  – максимальное отклонение полученных

результатов измерения;

6) шаг интервала:

$$h = \frac{Q}{m}, \quad (19)$$

где  $m$  – суммарное количество измерений, проведенных для рассматриваемого прибора;

7) граничные значения:

$$X_k = \vartheta_{\min} + k \cdot h, \quad (20)$$

где  $\vartheta_{\min}$  – минимальное отклонение полученных результатов измерения;

$k$  – номер интервала гистограммы;

8) диапазон изменения интервалов гистограммы;

9) значения отклонений, попавших в заданный диапазон;

10) частота появления отклонений.

Показатели экспериментальных гистограмм закона распределения напряжений и напряжённостей, создаваемых ИРП, приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Показатели экспериментальной гистограммы

Наименование	Параметр	Кол. измерений, шт.	Кол. интервалов гистограммы, шт.	$\vartheta_{\min}$	$\vartheta_{\max}$	Q	h
Информационное табло	U	140	8	-1,8	1,6	3,4	0,425
	H	165	8	-1,6	1,4	3,0	0,375
Электромагнитное реле	U	180	8	-1,8	1,8	3,6	0,45
	H	115	8	-1,2	1	2,2	0,275

Таблица 2

Расчётные значения показателей экспериментальной гистограммы закона распределения ИРП

Наименование	Параметр	Гранич. знач.	Диапазон измен.	Знач. откл.	Частота	Частота по диапоз.
Информационное табло	U	-1,3	-1,8...-1,3	-1,8	1	4
		-0,9	-1,3...-0,9	-1,4	3	12
		-0,5	-0,9...-0,5	-1,2	3	14
		-0,1	-0,5...-0,1	-1	9	31
		0,3	-0,1...0,3	-0,8	6	37
		0,7	0,3...0,7	-0,6	8	17
		1,1	0,7...1,1	-0,4	17	17
		1,6	1,1...1,6	-0,2	14	8
	H	-1,23	-1,6...-1,23	-1,6	1	5
		-0,85	-1,23...-0,85	-1,4	4	12
		-0,48	-0,85...-0,48	-1,2	4	21
		-0,1	-0,48...-0,1	-1	8	35
		0,28	-0,1...0,28	-0,8	3	29
		0,65	0,28...0,65	-0,6	18	41
		1,03	0,65...1,03	-0,4	22	17
		1,4	1,03...1,4	-0,2	13	5
			0	24		
			0,2	5		
			0,4	17		

Окончание таблицы 2

Наименование	Параметр	Гранич. знач.	Диапазон измен.	Знач. откл.	Частота	Частота по диапаз.	
				0,6	24		
				0,8	9		
Электромагнитное реле	U	-1,35	-1,8...-1,35	-1,8	2	12	
		-0,9	-1,35...-0,9	-1,6	2	9	
		-0,45	-0,9...-0,45	-1,4	8	23	
		0	-0,45...0	-1,2	6	49	
		0,45	0...0,45	-1	3	36	
		0,9	0,45...0,9	-0,8	4	37	
		1,35	0,9...1,35	-0,6	19	7	
		1,8	1,35...1,8	-0,4	26	7	
					-0,2	9	
					0	14	
			0,2	10			
			0,4	26			
	H	-0,93	-1,2...-0,93	-1,2	1	4	
		-0,65	-0,93...-0,65	-1	3	6	
		-0,38	-0,65...-0,38	-0,8	6	25	
		-0,1	-0,38...-0,1	-0,6	16	6	
		0,18	-0,1...0,18	-0,4	9	14	
		0,45	0,18...0,45	-0,2	6	48	
		0,73	0,45...0,73	0	14	6	
		1	0,73...1	0,2	24	6	
				0,4	24		
				0,6	6		

Внешний вид экспериментальных гистограмм приведен на рис. 10–13.

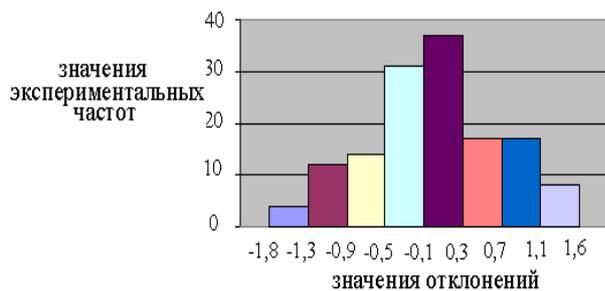


Рис. 10. Экспериментальная гистограмма закона распределения напряжений для информационного табло

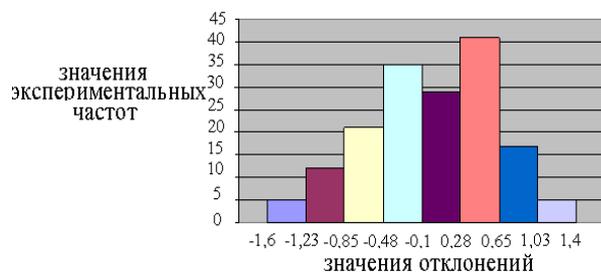


Рис. 11. Экспериментальная гистограмма закона распределения напряжённостей для информационного табло

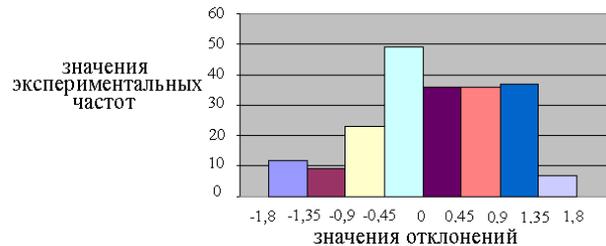


Рис. 12. Экспериментальная гистограмма закона распределения напряжений для электромагнитного реле

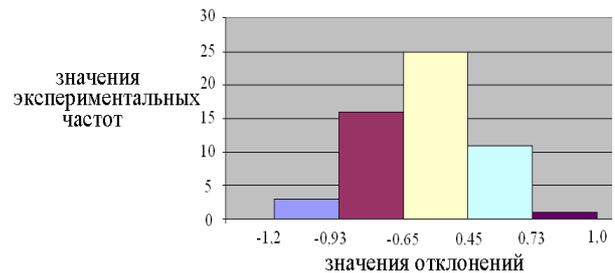


Рис. 13. Экспериментальная гистограмма закона распределения напряжённостей для электромагнитного реле

Для определения вида полученного закона распределения ИРП необходимо сравнить его с нормальным законом.

#### 4. Построение теоретической гистограммы закона распределения промышленных радиопомех

Проверка на нормальность экспериментального распределения при большом числе результатов измерений проводится путём построения теоретической гистограммы и оценивания её соответствия экспериментальной гистограмме по критерию Пирсона. Для построения теоретической гистограммы необходимо:

1) определить середину каждого интервала гистограммы:

$$\vartheta_{j \text{ ср.}} = \frac{\vartheta_{jk} + \vartheta_{j k+1}}{2}, \quad (21)$$

где  $k$  – номер интервала гистограммы;

$j$  – контрольная точка частоты, на которой проводят измерение;

2) вычислить нормированные отклонения сере-

дины каждого интервала гистограммы от САЗ отклонений:

$$t_j = \left| \frac{\vartheta_{j \text{ ср.}} - \bar{\vartheta}}{S_{\bar{\vartheta}}} \right|, \quad (22)$$

где  $\bar{\vartheta}$  – САЗ отклонений результатов измерений;

$S_{\bar{\vartheta}}$  – СКО среднего значения отклонений результатов измерений;

3) вычислить плотность вероятности для каждого интервала гистограммы по таблице нормированной функции нормального распределения:

$$y(t_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t_j^2}{2}}; \quad (23)$$

4) вычислить теоретические частоты, соответствующие каждому интервалу:

$$n_{j \text{ т}} = n \cdot \frac{h}{S_{\vartheta}} \cdot y(t_j), \quad (24)$$

где  $h$  – шаг интервала гистограммы.

Таблица 3

Расчётные значения показателей теоретической гистограммы закона распределения ИРП

Наименование	Параметр	$\vartheta_{j \text{ ср.}}$	$\bar{\vartheta}$	$t_j$	$y(t_j)$	$n_{j \text{ т}}$
Информационное табло	U	-1,55	0	2,2	0,0355	3
		-1,1		1,6	0,1109	10
		-0,7		1,0	0,242	21
		-0,3		0,4	0,3683	32
		0,1		0,1	0,397	34
		0,5		0,7	0,3123	27
		0,9		1,3	0,1714	15
		1,35		1,9	0,0656	6
	H	-1,415	0	2,1	0,044	4
		-1,04		1,6	0,1109	10
		-0,665		1,0	0,242	23
		-0,29		0,4	0,3683	35
		0,09		0,1	0,397	37
		0,465		0,7	0,3123	29
		0,84		1,3	0,1714	16
		1,215		1,8	0,079	7
Электромагнитное реле	U	-1,575	0	2,1	0,044	5
		-1,125		1,5	0,1295	14
		-0,675		0,9	0,2661	29
		-0,225		0,3	0,3814	42
		0,225		0,3	0,3814	42
		0,675		0,9	0,2661	29
		1,125		1,5	0,1295	14
		1,575		2,1	0,044	5
	H	-1,065	0	2,2	0,0355	2
		-0,79		3,2	0,0024	0
		-0,655		2,7	0,0104	1
		-0,24		1,0	0,242	16
		0,04		0,2	0,391	25
		0,315		1,3	0,1714	11
		0,59		2,4	0,0224	1
		0,865		3,5	0,0009	0

Внешний вид теоретических гистограмм приведен на рис. 14–17.

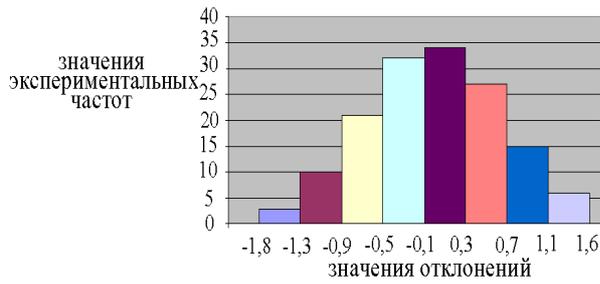


Рис. 14. Теоретическая гистограмма закона распределения напряжений для информационного табло

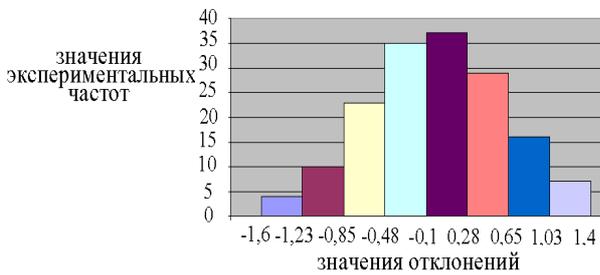


Рис. 15. Теоретическая гистограмма закона распределения напряжённостей для информационного табло

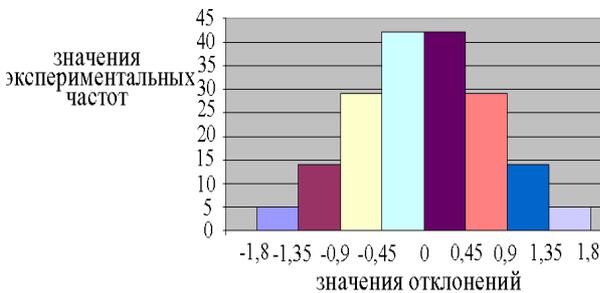


Рис. 16. Теоретическая гистограмма закона распределения напряжений для электромагнитного реле

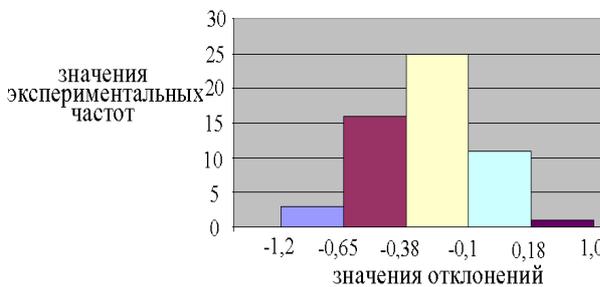


Рис. 17. Теоретическая гистограмма закона распределения напряжённостей для электромагнитного реле

По критерию Пирсона расхождение экспериментальных и теоретических гистограмм являются

несущественными.

#### 4. Проверка закона распределения промышленных радиопомех на нормальность

Проверка закона распределения ИРП на нормальность осуществляется с помощью критериев:

1) d-критерий смещённости закона распределения

Для проверки нормальности распределения по составному d-критерию необходимо рассчитать параметр:

$$d_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\vartheta_i - \bar{\vartheta}|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\vartheta_i - \bar{\vartheta})^2}}, \quad (25)$$

где  $d_3$  – экспериментальное значение d-критерия;

$\vartheta_i$  – отклонения значений замеров;

$\bar{\vartheta}$  – среднее значение отклонений значений замеров;

n – число замеров.

Экспериментальное значение d-критерия должно находиться в установленных пределах:

$$d_{T \min} < d_3 < d_{T \max}, \quad (26)$$

где  $d_{T \min}$  – минимальное допустимое значение по таблице d-критерия, равное  $d_{T \min} = d_{1-\frac{q}{2}}$ ;

$d_{T \max}$  – максимальное допустимое значение по таблице d-критерия, равное  $d_{T \max} = d_{\frac{q}{2}}$ ;

q – квантиль, равная  $q = 1 - P_{\text{дов.}}$ ;

$P_{\text{дов.}} = 0,99$  – доверительная вероятность.

Расчётные значения d-критерия для исследуемых приборов приведены в табл. 4. Из полученных значений видно, что во всех случаях смещение распределения лежит в допустимых пределах, и распределение является нормальным.

2) A-критерий асимметрии

Проверка симметричности распределения осуществляется с использованием A-критерия:

$$A_3 = \frac{\left| \sum_{i=1}^n \vartheta_i^3 \right|}{n \cdot S_{\vartheta}^3}, \quad (27)$$

где  $A_3$  – экспериментальное значение A-критерия;

$S_{\vartheta}$  – СКО отклонений.

Экспериментальное значение A-критерия не должно превышать допустимого значения:

$$A_3 < 3 \cdot \sqrt{D(A_3)}, \quad (28)$$

где  $D(A_3)$  – допустимое значение А-критерия, рав-

$$\text{ное } D(A_3) = \frac{6 \cdot (n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)}.$$

Расчётные значения А-критерия для исследуемых приборов приведены в табл. 4. Из полученных значений видно, что во всех случаях экспериментальные значения А-критерия не превышают допустимых значений, и построенная гистограмма является симметричной.

### 3) Е-критерий эксцесса

Проверка возможности выхода эксцесса за границы допустимых для нормального распределения интервалов осуществляется с использованием Е-критерия:

$$E_3 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n g_i^4}{n \cdot S_g^4} - 3 \right|, \quad (29)$$

где  $E_3$  – экспериментальное значение Е-критерия.

Экспериментальное значение Е-критерия не должно превышать допустимого значения:

$$E_3 < 5 \cdot \sqrt{D(E_3)}, \quad (30)$$

где  $D(E_3)$  – допустимое значение А-критерия, рав-

$$\text{ное } D(E_3) = \frac{24 \cdot n \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{(n+1)^2 \cdot (n+3) \cdot (n+5)}.$$

Расчётные значения Е-критерия для исследуемых приборов приведены в табл. 4. Из полученных значений видно, что при измерениях напряжения и напряжённости информационного табло, а также при измерении напряжения электромагнитного реле эксцесс не превышает допустимых значений, и распределение можно считать нормальным. Исключение составляет рассчитанное значение эксцесса для измерения напряжённости электромагнитного реле, превышающее допустимое значение.

## Заключение

Большая часть технических средств, к которым предъявляются требования по электромагнитной совместимости, должны пройти цикл испытаний на

помехоустойчивость либо помехообразование. Это связано с тем, что промышленные радиопомехи представляют собой опасное явление, которое оказывает значительное влияние на нормальное функционирование различных устройств. Именно поэтому важна правильная оценка результатов измерения ИРП, заключающаяся в определении истинного значения измеряемой величины. Истинное значение можно получить путём нахождения действительно-го значения и погрешности измерения.

Измеренные значения напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП, представляют собой случайный процесс. Следовательно, при измерениях будет присутствовать кроме систематической составляющей погрешности, связанной с выбранным методом измерения и погрешностью приборов, случайная составляющая погрешности измерения. При определении случайной погрешности необходимо установить закон распределения ИРП.

В данной работе была проведена обработка результатов измерения напряжения и напряжённости, создаваемых ИРП. На данные величины влияет большое число различных факторов, которые и определяют их закон распределения.

Анализ обстановки во время измерительного процесса позволил сделать допущение, что каждый из влияющих на процесс измерения факторов имеет малую величину и число данных факторов велико. Этот факт даёт основание предположить, что закон распределения напряжений и напряжённостей, создаваемых ИРП, является нормальным (гауссовым).

Для подтверждения данной гипотезы были построены экспериментальные гистограммы напряжений и напряжённостей для информационного табло и электромагнитного реле, соответственно, позволяющие наглядно представить закон распределения ИРП. Внешний вид гистограмм имеет колоколообразную форму, соответствующую априорно нормальному распределению, что подтверждается расчётами по критерию Пирсона.

Количественная оценка соответствия полученного закона распределения нормальному проводилась путём сравнения рассчитанных критериев смещённости, асимметрии и эксцесса с допустимыми значениями. Подавляющее число рассмотренных критериев говорит о нормальности полученного закона распределения промышленных радиопомех.

Таблица 4

Расчётные значения критериев проверки нормальности закона распределения

Наименование	Параметр	$d_3$	$d_{T \min}$	$d_{T \max}$	$A_3$	$3 \cdot \sqrt{D(A_3)}$	$E_3$	$5 \cdot \sqrt{D(E_3)}$
Информационное табло	U	0,7794	0,7366	0,8574	0,056	0,613	0,421	1,963
	H	0,8193			0,112	0,564	0,587	1,823
Электромагнитное реле	U	0,8118			0,195	0,540	0,337	1,751
	H	0,8307			0,620	0,671	2,671	2,141

Таким образом, в результате проведенного анализа сравнения и на основании полученных количественных показателей можно сделать вывод о нормальности закона распределения промышленных радиопомех для рассматриваемой аппаратуры системы управления.

### Литература

1. ДСТУ 2977-95. Радіозавади індустрійні. Терміни та визначення [Текст]. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – С. 2.
2. Фастовский, И.А. Большая советская энциклопедия. Радиопомехи промышленных [Электронный ресурс] / И.А. Фастовский. – Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article094977.html>. – 3.09.2012 г.
3. ГОСТ Р 51320-99. Совместимость техниче-

ских средств электромагнитная. Радиопомехи промышленных. Методы испытаний технических средств-источников промышленных радиопомех [Текст]. – Введ. 22.12.1999. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – С. 2, 3.

4. ГОСТ 16842-82. Радиопомехи промышленных. Методы испытаний источников промышленных радиопомех [Текст]. – Введ. 30.12.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – С. 10, 11.

5. Румега, А.С. Понятие о помехах и методы борьбы с ними. [Электронный ресурс] / А.С. Румега. – Режим доступа: <http://ru.wikibooks.org/wiki.html>. – 3.09.2012 г.

6. Захаров, И.П. Теория неопределённости в измерениях [Текст] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.

Поступила в редакцию 25.09.2012

**Рецензент:** канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела 13010 А.Е. Лукьянович, НПП «Хартрон-Аркос», Харьков.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РАДІОЗАВАД АПАРАТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*О.В. Чумаченко, С.М. Фірсов, К.Ю. Голуб*

Проводиться дослідження закону розподілу промислових радіозавад. Отримані значення напруг і напружностей, які створюються промисловими радіозавадами. Проведено аналіз отриманих результатів із застосуванням статистичних методів обробки результатів експериментів. Визначена функціональна залежність величин промислових радіозавад від впливаючих на процес вимірювання факторів. Побудована експериментальна гістограма, що відображає частоту появи величин напруги або напруженості відповідно, і моделює закон розподілу промислових радіозавад. Оцінені основні параметри, що дозволяють віднести закон розподілу до нормального (гаусового): розрахункові значення d-критерію зміщення, A-критерію асиметрії, E-критерію ексцесу. Проведено аналіз відповідності експериментальної гістограми теоретичній. На основі отриманих результатів і проведених оцінок прийнято висновок про закон розподілу напруги і напруженості, які створюються промисловими радіозавадами.

**Ключові слова:** промислові радіозавади, випадкова величина, закон розподілу, метод найменших квадратів, відхилення, середнє арифметичне значення, середньоквадратичне відхилення, гістограма, нормальний розподіл.

### RESEARCH OF INDUSTRIAL RADIO INTERFERENCES DISTRIBUTION LAW OF SYSTEM MANAGERMENTS DIFFERENT SETTING APPARATUS

*A.V. Chumachenko, S.N. Firsov, K.Y. Golub*

Research of industrial radio interferences distribution law is conducted. The values of voltage and intensity created by industrial radio interferences are got. The analysis of received results is conducted with the use of statistical methods of experiments results treatment. Functional dependence of industrial radio interferences sizes is certain from on the process of measuring influences. An experimental histogram is built, representing frequency of sizes voltage or intensity appearance and designing of industrial radio interferences distribution law. Basic parameters allowing attributing the distribution law to normal (gaussian) is appraised: d-criterion of displacement, A-criterion of asymmetry, E-criterion of excess. The analysis of accordance of experimental histogram theoretical is conducted. On the basis of the got results and conducted estimations a conclusion is accepted about distribution law of of voltage and intensity, created by industrial radio interferences.

**Key words:** industrial radio interferences, casual size, distribution law, least-squares method, rejection, arithmetical mean value, root-mean-square rejection, histogram, normal distribution.

**Чумаченко Алексей Валентинович** – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела 13060, НПП «Хартрон-Аркос», Харьков, Украина.

**Фирсов Сергей Николаевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Голуб Екатерина Юрьевна** – магистр кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.