[1]**В.П. Квасников,** д.т.н.
[2]**В.Ф. Новиков**

НОМОГРАММА АБСЛЮТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ ПРИ ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

[1]Национальный авиационный университет, г. Киев
[2]ГП «Государственное Киевское конструкторское бюро «Луч», г. Киев

На основании анализа исследований распределения величин основных измеряемых параметров средств инициирования выполнено графическое представление абсолютных значений этих параметров в виде номограммы, которая совпадает с распределением Максвелла.

Ключевые слова: *средства инициирования, распределение, энергия активации, мостик накаливания, сопротивление мостика накаливания*

Введение

Теплофизическая система средств инициирования состоит из воспламенительного состава и электрического мостика накаливания, по которому протекает ток контроля, достаточный для идентификации величины электрического сопротивления средства инициирования [1, С. 111].

Контроль средств инициирования в виде исполнительных элементов мгновенного действия (пиропатронов) в узлах и агрегатах снаряженных объектов контроля является весьма актуальной задачей.

Для пиропатронов при их поставке потребителю оговаривают ряд технических параметров: величина активного сопротивления мостика накаливания, сопротивление изоляции, величина тока срабатывания и длительность импульса тока и др. Эти параметры обычно используют для расчета и выбора величины безопасного тока обтекания мостика накаливания – тока контроля. Изготовитель оговаривает также величину безопасного тока и время его протекания. Например, величина тока срабатывания пиропатрона 4 А в течение 50 мс, а величина безопасного тока – 100 мА в течение 5 мин. Очевидно, ток контроля не может превышать величину безопасного тока. Отношение величины безопасного тока к величине тока контроля средств инициирования важно как показатель надежности всей системы контроля и персонала. Этот показатель фактически гарантирует безопасность как процесса контроля средств инициирования в составе снаряженных изделий, так и персонала, осуществляющего этот контроль. Этот показатель надежности важен также для предупреждения материальных потерь, которыми всегда сопровождаются несанкционированные срабатывания средств инициирования в снаряженных изделиях [2, С.55].

Целью анализа исследований распределений величин основных измеряемых параметров средств инициирования является получение графических представлений распределения контролируемых параметров, отображающих функциональную зависимость абсолютных значений этих величин по закону Максвелла. Это позволит без дополнительных вычислений по геометрии кривой распределения определять значения абсолютных величин параметра в выбранной точке распределения.

Изложение основного материала

При осуществлении химического взаимодействия молекулы должны обладать определенной энергией активации. Большинство молекул (при определенных условиях) этой энергией не обладают. Согласно кинетической теории газов средняя энергия молекулы при температуре T равна $E_{ср} = (3/2)\,kT$, где k – постоянная Больцмана [3, С.222].

Распределение энергии между молекулами идеального газа при данной температуре представляют по закону, который называется распределением Максвелла-Больцмана. Это распределение больше известно как Максвелловское распределение скоростей. Впервые его получил Максвелл в 1859 году, используя метод теории вероятностей [4, С.221].

Вид функции распределения может быть установлен с помощью простейшего пути, приведенного в публикации [5, С.30].

Гаусс показал [5, С. 31, 6, С. 127], что кривая ошибок опыта описывается эмпирическим уравнением:

$$y = ae^{-h^2x^2}, \tag{1}$$

где a и h – две постоянные величины; $ae^{-h^2x^2}$ – функция вероятности ошибки.

Для исследования погрешности измерений основных параметров диагностируемых мостиков накаливания средств инициирования, исходим из допущения, что распределение ошибок измерений параметров диагностируемых мостиков накаливания подчиняется тому же закону, что и скорости молекул газа (при данной температуре) в Максвелловском распределении [4, С.219].

Обозначим измеряемое значение основного параметра диагностируемых мостиков накаливания буквой с. Представим основные параметры в виде векторов всевозможных направлений с положительными значениями основных параметров (от 0 до + ∞).

Опишем из некоторого центра две сферы радиусов с и с+dc; объем, заключенный между двумя концентрическими сферами, очевидно, равен:

$$dV=(3/4)\pi(c+dc)^3-(4/3)\pi c^3$$

Раскрыв скобки и отбросив бесконечно малые высших порядков, получим

$$dV=4\pi c^2dc \tag{2}$$

Из центра сфер отложим прямые, равные величинам измеряемого определяющего параметра, концы которых лежат между сферами с радиусами с и с+dc так, чтобы они попали в объем dV. Основное наше допущение состоит в том, что число величин измеряемого определяющего параметра dN, имеющих значения между с и с+dc (концы прямых, следовательно, попадают в указанный объем), пропорционально числу всех измерений N, объему dV и функции вероятности (1) , т.е. что

$$dN = 4\pi \cdot c^2 Nae^{-h^2c^2}dc \tag{3}$$

Полное число измерений $N = \int dN$ или

$$N = 4\pi Na\int_0^\infty c^2e^{-h^2c^2}dc, \tag{4}$$

т.к. охватив все возможные значения определяющих параметров от 0 до ∞, мы тем самым исчерпаем все измерения.

Известно, что $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2}dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$; обозначим $h{\cdot}c=x$, а $dc = \frac{dx}{h}$, тогда $\int_0^\infty e^{-h^2c^2}dc = \frac{\sqrt{\pi}}{2h}$;

берем производные от обеих сторон выражения по h: $\int_0^\infty c^2e^{-h^2c^2}dc = \frac{\sqrt{\pi}}{4h^3}$

(при этом дифференцировании с рассматривается как постоянная величина). Подставив полученное значения интеграла в (4), получим: $N = 4\pi Na\frac{\sqrt{\pi}}{4h^3}$, откуда $a = \frac{h^3}{\pi^{3/2}}$.

Подставив это значение в уравнение (3), после преобразования находим

$$dN = \frac{4Nh^3}{\sqrt{\pi}}e^{-h^2c^2}c^2dc, \tag{5}$$

откуда

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dc} = \frac{4h^3}{\sqrt{\pi}}c^2e^{-h^2c^2} = y. \tag{6}$$

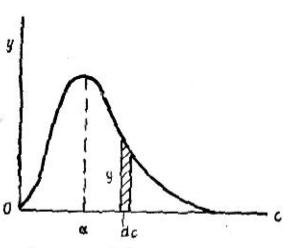

Рис. 1. Максвелловское распределение измерений основного параметра

Если на оси абсцисс станем откладывать величину измеряемого параметра с, а на оси ординат значения $y = \frac{4h^3}{\sqrt{\pi}}c^2e^{-h^2c^2}$ (приняв для простоты h = 1), то получим кривую Максвелловского распределения измерений основного параметра, показанную на рис. 1. Эта кривая проходит через максимум, для отыскания которого надо производную от (6) приравнять к нулю, для чего достаточно приравнять нулю производную от $\varphi = c^2 e^{-h^2 c^2}$;

$$\frac{d\varphi}{dc} = 2ce^{-h^2c^2} - c^2 e^{-h^2c^2} h^2 2c = 0,$$

откуда $h^2 c_m{}^2 = 1$. Обозначим: $c_m = \alpha$, тогда $h^2 = \frac{1}{\alpha^2}$.

Подставив это значение в уравнение (5), получим закон Максвелла в его обычной форме.

$$dN = \frac{4N}{\alpha^3\sqrt{\pi}} e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} c^2 dc. \tag{7}$$

Здесь $c_m = \alpha$ означает величину измеряемого параметра, которую имеет наибольшее число контролируемых средств инициирования в данных условиях. С этой точки зрения α называется наиболее вероятным значением измеряемого параметра.

При исследовании выведенного уравнения Максвелла (7) возьмем измеряемый параметр, лежащий между с и с+dc, вычертим столбик (рис. 1), основание которого dc на расстоянии с от начала координат; ордината, отвечающая этому столбику, $y = \frac{1}{N}\frac{dN}{dc}$, следовательно, площадь столбика $ydc = \frac{dN}{N}$ показывает ту долю измеряемых параметров, которые имеют величины, лежащие между *с* и *c*+*dc*. Для вычисления примем за единицу величины параметра наиболее вероятную величину параметра α = 1, следовательно, будем выражать величину параметра с в долях α. Для последующих расчетов запишем (7) в таком виде $\frac{1}{N}\frac{dN}{dc} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-c^2} c^2$.

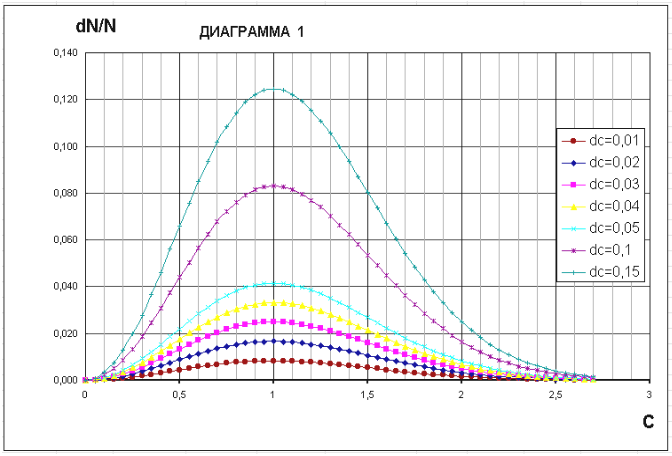

Рис. 2. Максвелловское распределение активного сопротивления средства инициирования

Построение Максвелловского распределения измеряемых величин основного параметра (активного сопротивления мостика накаливания средства инициирования с номинальной величиной 1 Ом), выполненного с использованием прикладной программы MS Excel и пакета Office, приведено на рис. 2.

Выводы

1. Максвелловское распределение позволяет нам немедленно получать некоторые связанные с ним распределения, например, абсолютные значения активного сопротивления на выбранном участке распределения.

2. Номинальные величины сопротивления, отличные от 1 Ом, могут быть приведены к относительному сопротивлению, равному единице.

Список литературных источников

1. П.П. Карпов. Средства инициирования – М. Гос. изд. Оборонной промышл., 1945, с. 272
2. А.Г. Белявский. Взрывная автоматика: элементы, системы, контроль – Черкассы: Відлуння-Плюс, 2002, 204 с.
3. Я.А. Угай. Общая химия – М. Высшая школа, 1984, 440 с.
4. Ф. Рейф. Статистическая физика, Берклеевский курс физики, том 5 – М. Наука, 1977, 352с.
5. А.В. Раковский. Введение в физическую химию – М. ОНТИ, 1938, 677 с.
6. Б.В. Гнеденко, А.Я. Хинчин. Элементарное введение в теорию вероятностей – М. Наука, 1976, 167 с.