

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА МИНИАТЮРНЫХ И СУБМИНИАТЮРНЫХ ГЕРКОНОВ

**В.Н. Шоффа, д.т.н.**

111250, ул. Красноказарменная, г. Москва, Россия,  
Московский энергетический институт (Технический университет)

*Рассмотрены проблемы, возникающие при сокращении размеров герконов, в частности, – снижение силы контактного нажатия и ухудшение релейности работы. Указано на необходимость изменения соотношений размеров контакт-деталей (КД) герконов при их миниатюризации.*

*Problems arising at reduction of reed switches dimensions, particularly, – decrease in contact force and degradation of relay operation are discussed. Necessity of the modification in ratio of contact dimensions when reed switches are miniaturized is pointed out.*

В последние годы на мировом рынке наблюдается тенденция к снижению спроса на герконы стандартных (длина герметизирующего баллона  $l_{\delta}$  (рис. 1) равна примерно 50 мм) и средних размеров ( $l_{\delta} \approx 20$  мм) и увеличению потребности в миниатюрных и субминиатюрных конструкциях. К миниатюрным условно относят герконы с длиной герметизирующего баллона, равной 10 – 15 мм, к субминиатюрным – с длиной баллона менее 10 мм.

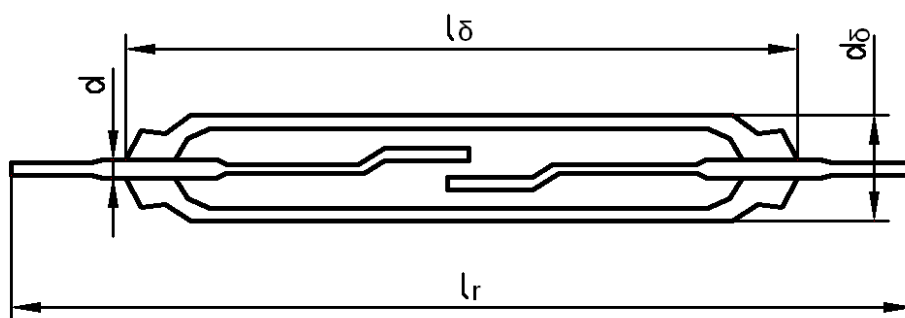


Рис. 1. Основные размеры геркона

При миниатюризации герконов повышается их чувствительность, быстродействие, резонансная частота, снижается время дребезга. Однако при этом сокращается раствор контактов  $\delta_r$  (рис. 2), что снижает электрическую прочность изоляции и уменьшает значения верхних пределов коммутируемых токов и напряжений. Уменьшается также длительно пропускаемый ток в замкнутом состоянии геркона. Сокращение размеров герконов ведет к уменьшению силы контактного нажатия и, как следствие, к увеличению переходного сопротивления и снижению его стабильности. Как показано ниже, появляется вероятность отсутствия скачкообразного перемещения контакт-деталей (КД) при срабатывании (т.е. снижается «релейность» аппарата).

Для «смягчения» некоторых указанных отрицательных тенденций принимаются конструкторские решения по изменению соотношений размеров КД миниатюрных и субминиатюрных герконов в сравнении со стандартными и средними герконами.

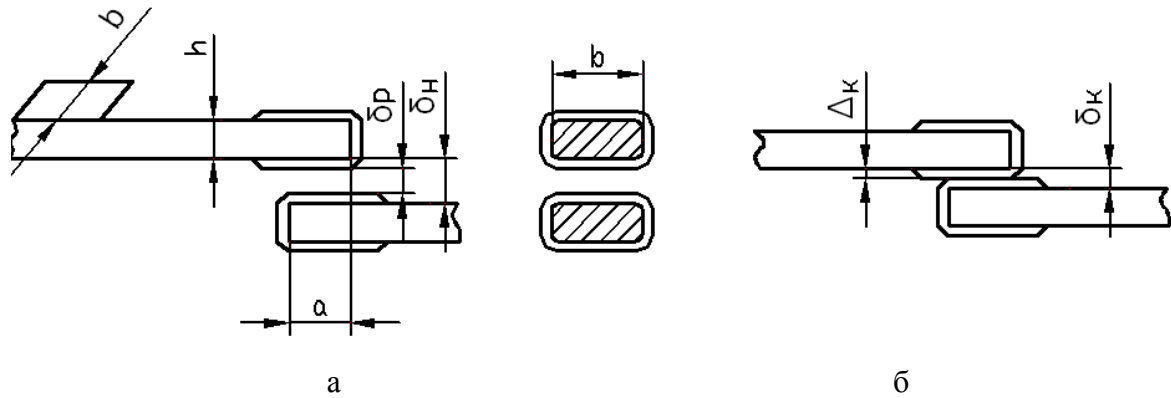


Рис. 2. Размеры в области перекрытия контакт-деталей в разомкнутом (а) и замкнутом (б) состояниях геркона

Рассмотрим сначала проблему, связанную с уменьшением силы контактного нажатия. Известно, что имеются оптимальные значения перекрытия а КД (рис. 2): значение  $a_c$ , обеспечивающее максимальную чувствительность геркона при срабатывании (т.е. наименьшую МДС срабатывания  $F_c$  геркона), и значение  $a_{к.н.}$ , дающее возможность получить наибольшую силу контактного нажатия  $P_{к.н.}$ , причем  $a_{к.н.} < a_c$  [1]. Известно также, что при насыщении КС значение  $a_{к.н.}$  уменьшается [1].

Значение  $a_c$  в общем случае зависит от начального немагнитного зазора  $\delta_n$  (рис. 2), соответствующего разомкнутому состоянию геркона при отсутствии управляющего магнитного поля [1]. Однако в реальном диапазоне вариации  $\delta_n$  в пределах допусков для конкретного типа геркона значение  $a_c$  меняется незначительно и может быть принято постоянным [1, 2]. Взаимосвязь между  $a_c$ , шириной  $b$  и толщиной  $h$  КД в области перекрытия (рис. 2) при постоянстве площади поперечного сечения КД характеризуется безразмерной эмпирической зависимостью  $a_c/b = \varphi(b/h)$  (рис. 3), построенной по усредненным результатам исследований физической модели герконового реле [3].

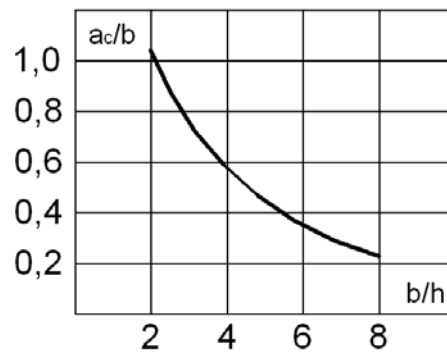


Рис.3. Зависимость  $a_c/b = \varphi(b/h)$  при  $bh = \text{const}$ .

На основании аппроксимации этой зависимости гиперболой получено соотношение [4]:

$$a_c/h \approx 2,1. \quad (1)$$

Герконы стандартного размера имеют относительно большие силы контактного нажатия, но они обладают меньшей чувствительностью. Поэтому для таких герконов целесообразно (если нет специальных требований по увеличению силы контактного нажатия, снижению емкости и др.) ориентироваться на значение  $a_c$ . В качестве примера приведем некоторые экспериментальные данные, полученные для КД геркона стандартного размера типа КЭМ-1 [2, 5]:  $a_c \approx 1,0 \div 1,1$  мм;  $a_{к.н.} \approx 0,5$  мм; электромагнитная сила  $P_s$  в замкнутом положении КД при рабочей МДС обмотки управления  $F_p = 150$  А для  $a_c$  равна  $45 \div 47$  гс, а для  $a_{к.н.}$  – примерно 70 гс. При этом сила контактного нажатия  $P_{к.н.}$ , соответствующая  $a_c$ , равна

примерно 20÷25 гс [5], что представляет собой достаточно большое значение для герметизированных слаботочных контактов.

Для миниатюрных же и субминиатюрных герконов с целью получения в них возможно больших значений силы контактного нажатия желательнее устанавливать не перекрытие  $a_c$ , как у герконов стандартного размера, а меньшее значение, близкое к перекрытию  $a_{к.н}$ . При сохранении большого значения отношения ширины  $b$  КД в области перекрытия к соответствующей толщине  $h$ , характерного для герконов стандартного размера (для геркона типа КЭМ-1  $b/h > 5$ , см. табл. 1), такую задачу решить невозможно. Этому есть несколько причин, главная (и принципиальная) из которых заключается в том, что получаемые в этом случае малые номинальные значения  $a_{к.н}$  оказываются равными существующим в настоящее время технологическим допускам на этот размер, а для некоторых субминиатюрных герконов они могут быть даже меньше допусков.

Увеличение номинальных значений перекрытий  $a_{к.н}$  и  $a_c$  возможно только за счет уменьшения ширины  $b$  КД в области перекрытия с соответствующим увеличением их толщины  $h$  при постоянном диаметре  $d$  проволоки, что и реализовано, например, в российских герконах типов МКА-14103, МКА-10110 и МКА-07101, в которых отношение  $b/h \approx 2 \div 2,3$  (табл. 1).

В табл. 1 помимо основных размеров герконов ( $l_r$  и  $l_6$ ), размеров КД ( $b$  и  $h$ ) в области перекрытия и их соотношения ( $b/h$ ), а также перекрытия  $a$  КД по чертежам приведены значения перекрытия  $a_c$ , рассчитанные по (1), и отношение  $a_c/b$ .

Таблица 1

Некоторые размеры стандартного геркона КЭМ-1, субминиатюрного геркона МКА-07101 и миниатюрных герконов МКА-14103 и МКА -10110 (рис.1 и 2)

Тип геркона	$l_r$ , мм	$l_6$ , мм	$b$ , мм	$h$ , мм	$b/h$	$a$ , мм	$a_c$ , мм	$a_c/b$	$d_6$ , мм
КЭМ-1	80	50	2,8	0,52	5,38	$1,3^{+0,1}$	1,1	0,4	5,6
МКА-14103	44,7	14,2	0,68	0,29	2,3	$0,3^{+0,2}$	0,62	0,91	2,3
МКА-10110	41,8	10	0,56	0,29	1,92	$0,25^{+0,15}$	0,61	1,09	1,8
МКА-07101	41,8	7	0,46	0,23	2	$0,2^{+0,15}$	0,48	1,05	1,8

Для миниатюрных и субминиатюрного герконов значение  $a_c/b \approx 1$ , тогда как для геркона стандартного размера оно примерно в два с половиной раза меньше. По понятным причинам допуск на перекрытие КД у миниатюрных и субминиатюрного герконов положительный.

Следует отметить, что сокращение ширины КД при заданном диаметре проволоки, используемой для их изготовления, допустимо только в определенных пределах, ограниченных значениями допусков и требованиями по электромагнитным и механическим характеристикам.

Теперь перейдем к проблеме обеспечения «релейности» миниатюрных и субминиатюрных герконов.

Начальный немагнитный зазор  $\delta_n$  между разомкнутыми КД (рис. 2) определяется как  $\delta_n = \delta_k + \delta_p$ , где  $\delta_k$  – конечный немагнитный зазор между замкнутыми КС. Последний можно условно представить в виде суммы двух толщин контактных покрытий КД  $\Delta_k$  и некоторой «неплотности прилегания» контактирующих поверхностей  $\Delta_n$ , т.е.  $\delta_k = 2 \Delta_k + \Delta_n$ . Величина  $\Delta_n$  зависит от многих факторов, и ее точные значения определить для герконов практически не представляется возможным.

В связи с тем, что толщина контактного покрытия при минимизации не может быть снижена пропорционально уменьшению размеров баллона, возникает проблема в обеспечении релейности работы миниатюрных и субминиатюрных герконов в электрических аппаратах. Для пояснения этого рассмотрим рис. 4, на котором изображены: противодействующая характеристика – зависимость механической силы  $P_{мх}$  (крутизна которой определяется жесткостью КД) от немагнитного рабочего зазора  $\delta$  между перекрывающимися концами КД и две тяговые характеристики – зависимости электромагнитной силы  $P_э$  от  $\delta$  при управляющей магнитодвижущей силе (МДС) срабатывания  $F_c$  и при рабочей МДС  $F_p$ .

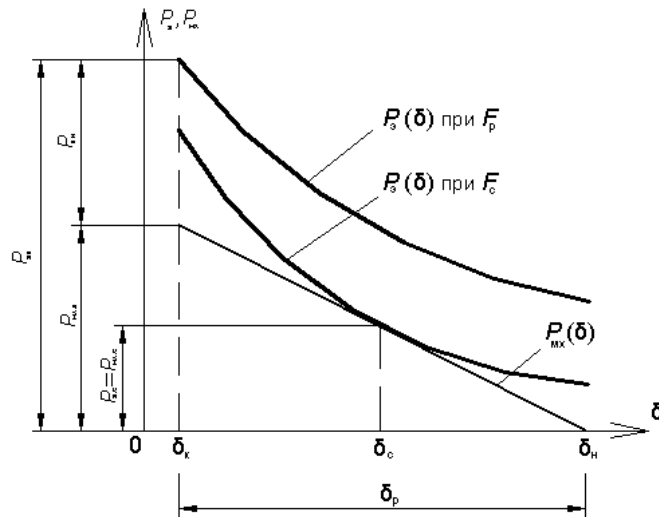


Рис. 4. Противодействующая  $P_{\max}(\delta)$  и тяговые  $P_3(\delta)$  характеристики герконового реле

Немагнитный зазор срабатывания  $\delta_c$  (рис. 4), начиная с которого происходит спонтанное сближение («snap action») КД, для герконов стандартных и средних размеров при перекрытии  $a_c$  составляет примерно 0,45 от начального немагнитного зазора  $\delta_n$  ( $\delta_c^* = \delta_c/\delta_n \approx 0,45$ ) [1].

Анализ, проведенный с учетом значений  $\delta_p$  и  $\Delta_k$ , приведенных в табл. 2, показывает, что при  $a = a_c$  (соответственно  $\delta_c^* = 0,45$ ) и ориентировочно принятом значении  $\Delta_n$  (7 мкм) у герконов с длиной баллона 10 мм и 7 мм не наблюдалось бы спонтанного движения КД. Для повышения вероятности такого характера движения КД необходимо повысить значение  $\delta_c^*$ , что требует увеличения крутизны тяговой характеристики  $P_3(\delta)$  при  $F_c$  (см. рис. 4). Это можно сделать, например, используя несколько способов увеличения внешней магнитной проводимости геркона [1]: удлинение выводов КД, увеличение периметра их поперечного сечения путем перехода от цилиндрической формы к прямоугольной, применение внешнего магнитопровода при работе геркона в реле. Но наиболее эффективное решение для роста вероятности достижения поставленной цели – сокращение перекрытия КД по сравнению со значением  $a_c$  [1], что и реализовано в герконах типов МКА-14103, МКА-10110 и МКА-07101 (см. табл. 1). Однако даже это не обеспечило «snap action» для наиболее чувствительных образцов герконов указанных типов ( $F_c \approx 7 \div 9$  А), имеющих наименьшие значения раствора  $\delta_p$ .

Таблица 2

Значения раствора  $\delta_p$ , толщины контактного покрытия  $\Delta_k$ , МДС срабатывания  $F_c$  в стандартной обмотке и контактного сопротивления  $R_k$  для герконов КЭМ-1, МКА-14103, МКА-10110 и МКА-07101

Тип геркона	$\delta_p$ , мкм	$\Delta_k$ , мкм	$F_c$ , А	$R_k$ , Ом
КЭМ-1	$250^{+50}$	$2,6 \div 4,1$	$50 \div 120$	0,1
МКА-14103	15min	$0,75 \div 1,8$	$8 \div 35$	0,1
МКА-10110	10min	$0,6 \div 1,25$	$8 \div 40$	0,15
МКА-07101	9min	$0,6 \div 1,25$	$7 \div 35$	0,2

Как видно из табл. 2, миниатюрные герконы и субминиатюрный геркон имеют гораздо больший разброс МДС срабатывания по сравнению с герконом стандартного размера. Кроме того, из-за снижения силы контактного нажатия повышается контактное сопротивление (до 0,2 Ом у геркона МКА-07101).

Таким образом, уменьшение раствора, перекрытия и других размеров КД создает сложности для реализации автоматической сборки миниатюрных и субминиатюрных герконов (в том числе – для процесса заварки КД в стеклянную трубку) с соблюдением заданных требований к параметрам герконов и их разбросу.

Один из путей миниатюризации герконов – использование асимметричного расположения КД в баллоне, так как для одного и того же раствора и возвращающей механической силы КД длину баллона в этом случае можно сделать меньше, чем при симметричном исполнении [6]. Однако при этом еще больше усложняется автоматизация сборки, в частности, из-за приближения области контактов к месту заварки, где температура нагрева КД достигает 900 – 1000 °С.

Можно сделать вывод, что при используемой в настоящее время наиболее распространенной в мире (в том числе и в России) технологии сборки герконов с существующими допусками промышленное производство этих коммутационных элементов с длиной баллона меньше 7 миллиметров вряд ли целесообразно.

Видимо, изменение технологии с ужесточением допусков явилось основанием для реализации возможности производства некоторыми фирмами симметричных герконов с длиной баллона 5÷5,4 мм (при диаметре 1,4÷1,8 мм): «Coto Technology» (Нидерланды), «Nec/Tokin» (Япония), «Crydom» (Великобритания), «RRE» (Индия). Разброс по МДС срабатывания у этих герконов составляет от 2 до 4 раз (максимальное значение – 20 А), а наибольшее значение контактного сопротивления для разных фирм – от 0,2 до 0,5 Ом.

Американская фирма «Hermetic Switch» разработала и производит в настоящее время самый миниатюрный и наиболее чувствительный геркон в мире с длиной баллона 4,31 мм [7]. Геркон – асимметричный, с овальной формой поперечного сечения, имеющего размеры 0,4 x 1,27 мм. МДС срабатывания этого коммутационного элемента лежит в пределах от 2А до 15А, а контактное сопротивление может достигать значения 0,5 Ом.

Для герконов с длиной баллона менее 5,5 мм стали использовать термин «ультраминиатюрные». Следует отметить, что неизвестно, каков процент выхода годной продукции у этих коммутационных элементов.

Дальнейшая миниатюризация герконов (в ограниченных пределах), видимо, возможна только при переходе от традиционных технологий их изготовления к микромашиным технологиям. Известно об изготовлении японской фирмой «Оки» с применением этих технологий образцов герконов с длиной баллона всего 2 мм [8], однако, о возможностях промышленного производства такого изделия ничего не сообщается.

### Литература:

1. Буль Б.К., Шоффа В.Н. Учебное пособие по курсу «Электромеханические аппараты автоматики». Раздел «Реле на герметизированных контактах». – М.: Издательство МЭИ, 1977. – С. 48.
  2. Коробков Ю.С., Умеренков А.С., Шибанов В.К. Учебное пособие по курсу «Электрические аппараты». Устройства на герконах. – М.: Издательство МЭИ, 1978. – С. 56.
  3. Шоффа В.Н. Применение теории подобия и физического моделирования при проектировании герконов // Электротехника, 1972. – № 11. – С. 42-47.
  4. Буль Б.К., Шоффа В.Н., Умеренков А.С. Учебное пособие по курсу «Электромеханические аппараты автоматики». Электрические аппараты автоматики на герконах. – М.: Издательство МЭИ, 1978. – С.47.
  5. Рогоза Е.Ф., Умеренков А.С., Шоффа В.Н. Электронная техника. – Серия 4 «Электровакуумные и газоразрядные приборы», 1977. – выпуск 3. – С.43-47.
  6. Шоффа В.Н. Герконы и герконовые аппараты. Справочник. – М.: Издательство МЭИ, 1990. – С. 288.
  7. [www.hermeticswitch.com](http://www.hermeticswitch.com).
- Hiroyasu Torazawa, Naokuri Arima. Reed Switches Developed Using Micro-machine Technology. Oki Technical Review. April 2005/Issue 202, Vol. 72, No.2. P. 76–79.*