

ГЕРКОНЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ОАО «РЗМКП»

Р.М. Майзельс – д.т.н.
390027, ул. Новая, 51В, Рязань, Россия, ОАО «РЗМКП»

Приводятся данные по истории развития разработок и производства герконов на ОАО «РЗМКП», динамики изменений номенклатуры и объемов производства, влияние кризиса 90-х годов, переориентация рынка потребления на экспорт по результатам исследований и сравнительного анализа отечественных герконов и зарубежных аналогов.

The paper represents data of the history of engineering and manufacture development of the reed switches on "RMCIP" JSC, data of the time history of the nomenclature and production volumes, influence of crisis of 90th years, reorientation of the consumer goods market to export, in accordance with the researches and the comparative analysis of the reed switches produced domestically and of the foreign analogues.

Несмотря на почти 40-летнюю историю применения, не снижается роль и значение магнитоуправляемых герметизированных контактов (герконов) как элементов коммутационной техники. Мировой рынок герконов достаточно стабилен во многих отраслях промышленности и народного хозяйства, им практически нет замены.

Достоинства и простота конструкции герконов, способность управляться внешним магнитным полем (созданным электрическим током или постоянным магнитом) позволяют применять их в качестве контактных пар всевозможных реле, концевых выключателей, тумблеров, кнопок клавиатуры, датчиков положения, скорости и ускорения, индикаторов перемещения и распределения сигналов, преобразователей неэлектрических величин в электрические аналоги, элементов высокочастотных и измерительных систем спецтехники и т.п.

Несмотря на простоту конструкции, в герконах протекают сложные физико-химические процессы. Во время коммутации возникают явления пробоя газовых пленок, автоэмиссии, дугообразования, переноса металла с одной контакт-детали на другую, магнитострикции, магнитного и термического взаимодействий, упругого удара и другие. По мере расходования ресурса происходят необратимые структурные изменения в материале контактов. Поэтому обеспечение заданной надежности герконов в условиях массового производства является достаточно сложной научно-технологической задачей с широким кругом решаемых проблем (от обработки исходных материалов до сборки-заварки и испытаний готовых изделий), справиться с которой могут только крупные предприятия, располагающие солидной научно-технической базой. Одним из таких предприятий (единственным на территории бывшего СССР) является Рязанский завод металлокерамических приборов (ОАО «РЗМКП»).

Первоначально (с момента основания в 1963 году) РЗМКП предназначался для производства радиоламп СВЧ-диапазона как комплектующих приемопередающих систем спецтехники. В 1967 году было принято решение о перепрофилировании завода на выпуск новой продукции – магнитоуправляемых герметизированных контактов (герконов). Научно-технического задела по герконам в СССР к тому времени практически не было: несколько статей по физике работы, отдельные конструкции герконов, изготовленные кустарным способом в лабораториях НИИ без какой-либо нормативно-технической документации на процесс, оснастку, инструмент, исходные материалы.

На базе этого «задела» и началось становление разработок и производства герконов, при этом многие вопросы решались впервые в отечественной и мировой практике. В этих условиях под единой координацией был выполнен большой комплекс НИР и ОКР по проблематике разработок и совершенствования серийного производства герконов. Эти работы включали в себя исследования различных физических процессов, сопровождающих коммутацию сигналов в герконах, разработку на их основе новых информативных параметров, методов и средств оценки качества, создания принципиально новых технологических процессов, отдельных автоматов и автоматических линий, спецоборудования и аппаратуры для испытаний, разработку и выпуск комплекта основных нормативно-технических документов, регламентирующих производство как герконов, так и необходимых исходных материалов.

К началу 90-х годов «РЗМКП» выпускал порядка 230 млн. шт. герконов (30 типов) в год (примерно четверть мирового объема), причем более 95% их потреблялось внутри страны. На основе анализа тенденции развития слаботочной релейной техники планировалось доведение объемов производства герконов до 0,5 млрд. шт. в год.

Экономические потрясения 1990-х годов поставили ОАО «РЗМКП» на грань банкротства. Выпуск герконов к 1996 году сократился более чем в 15 раз, а с приемкой заказчика упал практически до нуля. Почти в 3 раза сократилась численность сотрудников завода, календарная задолженность по зарплате составляла 7–8 месяцев, технологии выполнения особо тонких (научно-технических) операций были утеряны, основные поставщики исходных материалов прекратили производство. Резкий рост цен на энергетику, драгметаллы, услуги сторонних организаций выявили серьезные проблемы с обеспечением рентабельности производства герконов.

В этих условиях выход из кризиса был найден путем переориентации рынка потребления герконов на экспорт, модернизации производства согласно требованиям мирового рынка, разработки и освоения конкурентоспособных (в т.ч. не имеющих аналогов) изделий.

Меры, принятые по указанным направлениям, позволили значительно увеличить объемы выпуска продукции (в т.ч. до 80% на экспорт), резко сократить технологические потери от брака (процент выхода годных изделий за последние 5 лет вырос в среднем с 40% до 75-80%) и полностью восстановить экономические показатели завода. При этом существенно возросли качество и надежность изделий, поставляемых как на внутренний, так и на внешний рынки потребления.

На первом этапе была проведена разработка и освоение серии миниатюрных герконов (МКА-07101, МКА-10109, МКА-14103, МКА-16101), аналоги которых («МТГ-3» США, «ORD211» Япония, «2725» и «0288» Германия) уже имели устойчивый спрос на мировом рынке. На базе этих герконов была разработана и освоена серия датчиков охранной сигнализации для потребления внутри страны. Новые технические решения, использованные в конструкции и техпроцессе производства герконов, позволили свести к минимуму проблемы, вызванные спадом производства. Так, новые варианты контактного покрытия позволили резко сократить использование золота и полностью отказаться от покрытий на основе дорогостоящего родия. Вместо него был применен рутений (стоимость которого существенно ниже) по специально разработанному способу нанесения.

Следующим этапом были разработка и освоение производством серии изделий (герконы, реле, датчики – всего более 20 изделий) оригинальной конструкции (в 2000–2003 гг. на них получено 12 патентов на изобретения), позволивших существенно расширить технические возможности герконов и изделий на их основе. Так, на базе геркона МКС-14104 (патент РФ № 2190277, выдан 27.09.2002 г.), не имеющего аналогов за рубежом, разработаны и освоены реле двух типов – РГК41, РГК53 (патенты РФ № 2183039 от 27.05.2002 г. и № 2217834 от 27.11.2002 г.). Их использование существенно повышает надежность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), позволяет заменить морально устаревшие реле, обеспечивая этим совместимость по параметрам и технологии монтажа с другими электрорадиоизделиями (ЭРИ).

Разработаны и освоены производством новые герконы повышенной мощности МКС-27701, МКА-36201 и высоковольтный геркон МКА-40142, в конструкции контактного покрытия которых использовано оригинальное решение по патенту РФ № 2215342 от 2003 г. Это позволило отказаться от трудоемких вакуумно-плазменных технологий нанесения покрытий и использования для этих герконов драгоценных металлов.

На базе герконов повышенной мощности и высоковольтного геркона созданы специальные реле РГК52, РГК54, РГК55. Их применение в качестве промежуточных и исполнительных в несколько раз снижает массогабаритные показатели и энергопотребление в системах коммутации, качественно повышая технический уровень объектов применения этих реле.

Экономический эффект от работ выражается в обеспечении устойчивого производства конкурентных на мировом рынке изделий с ежегодным темпом прироста объема продаж на 15-20%. На конец 2004 года ОАО «РЗМКП» производило порядка 20% мирового объема выпуска герконов.

На рис. 1 представлены основные конструкции герконов, созданных на этапе возрождения завода (1997-2003 гг.) после кризиса начала 90-х годов. Их освоению производством и продвижению на мировой рынок предшествовал большой комплекс исследовательских, конструкторских и технологических работ.

Дело в том, что набор требований, регламентированный отечественными техническими условиями на герконы, приводил к необходимости создания герконов с универсальными коммутационными характеристиками для одного изделия. Это было неоправданно, так как вызывало усложнения конструкций изделий, необходимость выбора компромиссных соотношений между значениями различных выходных характеристик герконов.



Рис. 1. Основные конструкции магнитоуправляемых герметизированных контактов (герконов)

Действительно, сложно представить себе конечный объект использования геркона, где бы одновременно требовалось коммутировать цепи напряжением от микровольт до сотен вольт и более, с токами от микроампер до единиц ампер и более, да еще и при воздействии нескольких дестабилизирующих факторов (холод, тепло, вибрация, удары и т.д.). Это подтверждает и практика передовых фирм-производителей герконов («ОКІ» Япония, «Hamlin» США и др.), где очень аккуратно регламентируются требования к выходным характеристикам изделий. Как правило, набор этих требований дается для эксплуатации в нормальных условиях, с жесткими определениями качества коммутируемой и контрольной цепей, значениями динамических характеристик во время и после испытаний на долговечность.

Не вдаваясь в причины такого расхождения, следует заметить, что опыт испытаний иностранных аналогов в наших режимах (по нашим методикам) показывает, что за многие годы практически не было случаев, чтобы импортные образцы выдерживали нашу гамму требований. С другой стороны, наши герконы не выдерживают комплекс требований, предъявляемый к аналогам. Парадокс, но он объясним.

Несмотря на кажущуюся простоту конструкций герконов, в них заложена масса противоречий между физическими процессами, сопровождающими коммутацию, собственно конструкцией и различными технологическими факторами. При этом совокупность требований является своего рода компромиссом между возможностями исходных материалов (характеристики металла, стекла, чистота сред, газов наполнения и реактивов) и указанными факторами.

На рис.2 представлена схема взаимосвязи отдельных параметров герконов с характеристиками образующих их элементов и другими информативными данными.

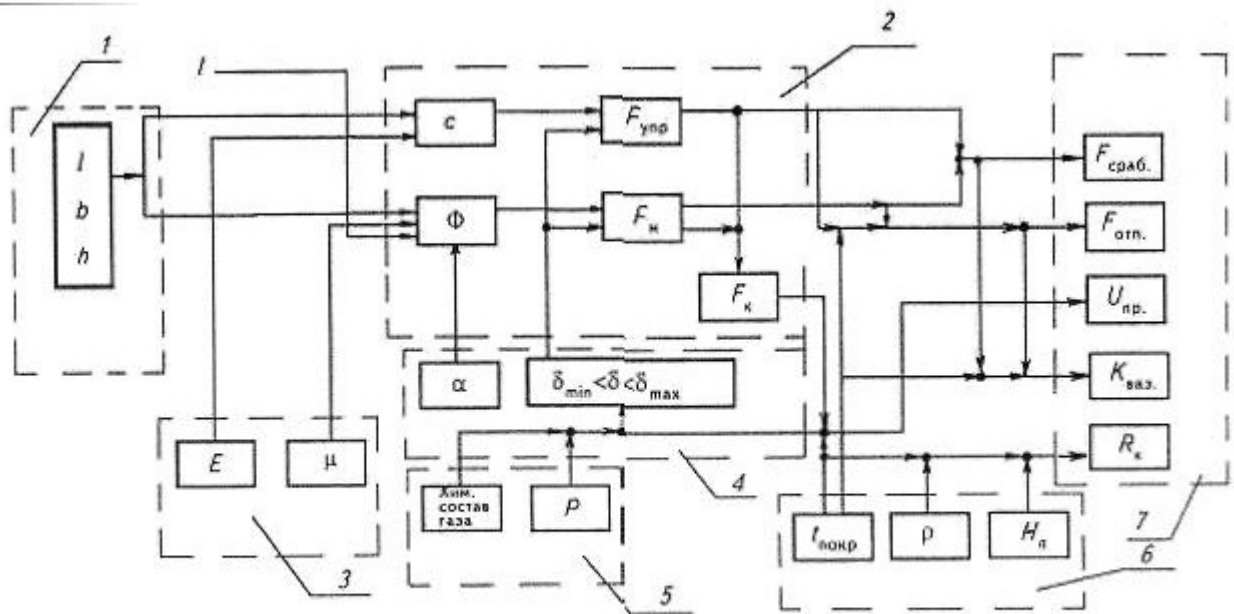


Рис. 2. Схема взаимосвязи параметров герконов

1 — геометрические размеры контакт-детали; 2 — физические величины, определяющие работу геркона; 3 — физические характеристики материала контакт-деталей; 4 — геометрические характеристики зоны срабатывания геркона; 5 — физические характеристики наполнения; 6 — физические характеристики контактного покрытия; 7 — выходные параметры геркона.

l, b, h — геометрические размеры (длина, ширина, толщина) контакт-деталей; α — перекрытие; δ — межконтактный зазор; c — жесткость контакт-детали; I — ток в катушке управления; Φ — магнитный поток в зазоре; μ — магнитная проницаемость материала контакт-детали; E — модуль упругости контакт-детали; P — давление газа в баллоне геркона; $F_{упр.}, F_m$ — упругая и магнитная силы взаимодействия в замкнутом герконе; F_k — контактное нажатие; $t_{покр.}$ — толщина покрытия контакт-детали; ρ — удельное сопротивление контактного покрытия; H_n — твердость контактного покрытия.

Весь этот набор параметров, физических величин и технологических факторов участвует в формировании выходных характеристик герконов в самых различных, часто взаимоисключающих влияниях. Например, один из основных параметров герконов, определяющих его надежность, - контактное нажатие (F_k) (представляющее собой разницу между магнитной (F_m) и упругой ($F_{упр.}$) силами взаимодействия в замкнутом герконе) - зависит практически от всех составляющих приведенной схемы. Варьируя перекрытием (α) и зазором (δ), можно получить высокую чувствительность геркона ($F_{сраб.}$), но, как следствие, потери в контактном нажатии неминуемо снизят коммутационные возможности, особенно в режимах «сухой» (практически без тока) цепи. Для повышения ресурса работы геркона в режимах повышенных мощностей требуется увеличение толщины контактного покрытия ($t_{покр.}$), однако, это вызывает рост величины переходного сопротивления (R_n) и коэффициента возврата ($K_{возвр.}$), или, скажем, рост значений пробивного напряжения ($U_{проб.}$) невозможен без повышения давления газа (P) в баллоне геркона, но это влечет за собой снижение коммутационных возможностей в режимах, сопровождающихся дугowymi разрядами. И таких примеров множество.

В то же время даже идеальное обеспечение выходных характеристик, указанных на схеме рис. 2, недостаточно для конечного прогнозирования качества и надежности. Герконы принадлежат к классу изделий, контролепригодность (возможность обеспечения измерениями контролируемых параметров всей гаммы эксплуатационных характеристик) которых слишком мала и условна. Параметры приемосдаточных испытаний (фактически выходные характеристики схемы рис. 2) слабо коррелируются с параметрами долговечности. Поэтому большинство конструкций геркона рассчитаны по принципу оптимальности с использованием эмпирических зависимостей, при этом, как правило, требования к долговечности устанавливаются путем статистической обработки результатов испытаний. Такая практика и приводила к указанным парадоксам в результате испытаний отечественных герконов и их зарубежных аналогов.

Новые герконы (рис. 1) были сразу ориентированы на требования лучших зарубежных аналогов. В конечном итоге это привело к серьезной переработке техпроцессов и насыщению их новыми информативными параметрами.

В тоже время появилась возможность отказаться от необходимости создания универсальных (повышенной толщины) покрытий, а это солидная экономия, так как работать пришлось в условиях жесткой регламентации практически всех ресурсов, необходимых как для разработок, так и для производства герконов.

Разработка миниатюрного переключающего геркона МКС-14104

На рис. 3, 4 представлены основные конструкции переключающих герконов. Каждый из этих герконов имеет одну размыкаемую пару 1 и 2 и одну замыкаемую - 1 и 3. Принцип работы таких герконов заключается в следующем: при отсутствии управляющего сигнала контакт-детали 1 и 2 замкнуты за счет механической силы контактного нажатия, обусловленной упругими свойствами контакт-деталей. При появлении управляющего сигнала достаточной величины подвижная контакт-деталь размыкается с нормально замкнутой (НЗ) контакт-деталью и замыкается с нормально разомкнутой (НР).

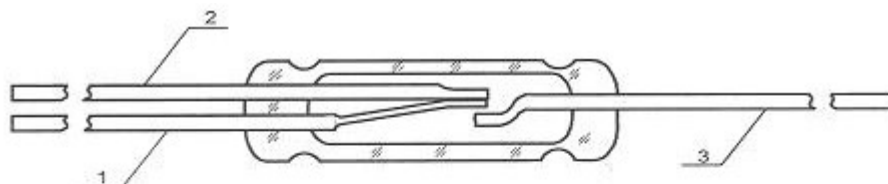


Рис. 3. Переключающий геркон с односторонним расположением выводов размыкаемой пары

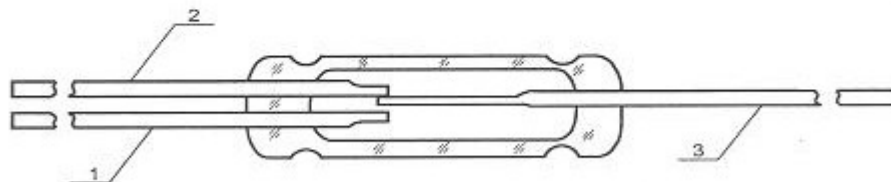


Рис. 4. Переключающий геркон с разносторонним расположением выводов размыкаемой пары

Герконы на приведенных рисунках имеют хорошо выраженные конструктивные отличительные признаки, которыми являются расположения выводов контакт-деталей: в первом случае НЗ пара в одну сторону, во втором – по обе стороны баллона геркона.

Конструкции таких переключающих герконов могут иметь различные варианты исполнения, обусловленные принципами достижения срабатывания, которые характеризуются соотношением электромагнитных сил, действующих на переключаемую контакт-деталь.

Для обеспечения этих соотношений существует ряд технических решений. Так, одним из способов является изготовление НЗ и НР контакт-деталей из одного материала, но для того чтобы геркон был работоспособен, необходимо обеспечить разные магнитные характеристики этих деталей. Это достигается за счет применения разных режимов отжига для НЗ и НР контакт-деталей, а также нанесением большого немагнитного зазора на НЗ контакт-деталь в области перекрытия.

Также можно изготовить НР и НЗ контакт-детали из разных материалов, имеющих различные магнитные свойства. Однако недостатком данной конструкции является проблема сваривания разнородных металлов со стеклом в одном спае.

Еще одним из принципов обеспечения срабатывания переключающего геркона, который широко используется за рубежом, является применение немагнитных вставок в виде отрезков проволоки или пластин, приваренных к НЗ контакт-деталей в области перекрытия.

Размеры контакт-деталей переключающего геркона выбирают исходя из требований получения наибольшего магнитного потока, который в основном проходит по подвижной контакт-детали, поэтому диаметр проволоки, из которой изготавливается данная деталь, должен быть по возможности максимальным. В то же время жесткость подвижной контакт-детали должна быть, как можно меньшей, это достигается максимально возможной длиной и минимально возможной толщиной плющения. Исходя из вышеперечисленных требований, выбирается геометрия подвижной контакт-детали. Для получения надежного спая металла со стеклом при диаметре стекла, например, 2,5 мм диаметр проволоки не должен превышать 0,5 мм. Длина плющения неподвижной контакт-детали ограничена внутренней длиной баллона и с учетом сборки не может превышать (для приведенного случая) 8 мм, толщина плющения выбирается исходя из внутреннего диаметра баллона. Геометрические размеры неподвижных контакт-деталей связаны в основном с особенностями изготовления геркона. Их размеры и конфигурация должны обеспечивать сборку геркона и определенное расстояние между неподвижными НР и НЗ контакт-деталей.

Одним из основных требований, предъявляемых к переключающим герконам, является отсутствие «зависания» подвижной контакт-детали, т.е. конструкция геркона должна обеспечивать перелет подвижной контакт-детали от неподвижной НЗ контакт-детали до неподвижной НР контакт-детали скачкообразно, без дальнейшего увеличения магнитного поля. Наличие эффекта "зависания" может отрицательно сказаться на работе реле с переключающими герконами (особенно при медленном изменении управляющего сигнала).

Геркон в конструкции (рис. 3) уже много лет выпускается серийным производством (КЭМ-3), однако все попытки миниатюризации из-за технологических сложностей заканчивались отрицательным результатом.

Реализация конструкции (рис. 4) выявила ряд недостатков как конструктивного, так и технологического характера, в частности, из-за предлагаемого расположения неподвижной контакт-детали под воздействием магнитного поля возможно влияние ее на процесс переключения подвижной контакт-детали. При управлении от постоянного магнита повышается вероятность зависания подвижной контакт-детали между моментом размыкания нормально-замкнутой пары и замыканием нормально-разомкнутой пары, в результате чего возможна временная потеря сигнала, коммутируемого герконом. Кроме того, в момент переключения наблюдается кратковременное притяжение к неподвижной контакт-детали, образующей нормально-разомкнутую пару с подвижной контакт-деталью, что недопустимо для некоторых условий эксплуатации.

Поэтому при создании нового миниатюрного переключающего геркона его конструкция была сконструирована таким образом, что переключаемая подвижная контакт-деталь образует нормально-замкнутую пару с одной контакт-деталью, а с другой неподвижной контакт-деталью образует нормально-разомкнутую пару, причем обе пары смещены вдоль продольной оси баллона без взаимного перекрытия контакт-деталей. С целью обеспечения скачкообразного переключения зазор в нормально-разомкнутой паре (x_1) должен превышать зазор срыва (начало скачка). Для его определения справедливо соотношение:

$$x_1 = \frac{4C_2 \alpha \sin \alpha^\circ}{C_1(l_1 - l_2)},$$

где x_1 – зазор нормально-разомкнутой пары;

l_1 – длина подвижной контакт-детали, осуществляющей процесс переключения;

l_2 – величина смещения центров перекрытий нормально-разомкнутой и нормально-замкнутой пар вдоль продольной оси баллона;

α – величина перекрытия нормально-замкнутой пары;

C_1 – жесткость подвижной контакт-детали;

C_2 – жесткость упора нормально-замкнутой пары;

α° – угол между плоскостью подвижной контакт-детали и свободным концом упора нормально-замкнутой пары.

На рис. 5 представлена конструкция магнитоуправляемого контакта, на рис. 6, 7 – схема его работы в статике. Геркон содержит подвижную переключающую контакт-деталь 1 и две неподвижные контакт-детали 2 и 3, приваренные в противоположных торцах стеклянного баллона 4 так, что детали 1, 2 образуют нормально-замкнутую пару, а контакт-детали 1, 3 – нормально-разомкнутую.

При воздействии внешнего магнитного поля переключающая подвижная контакт-деталь 1 отходит от контакт-детали 2, при этом точка контактирования нормально-замкнутой пары плавно перемещается в точку 5 (рис.8), после чего происходит скачкообразное уменьшение зазора нормально-разомкнутой пары x_1 . Величина перемещения свободного конца контакт-детали 2, отстоящего на угол α° от поверхности контакт-детали 1 до момента размыкания нормально-замкнутой пары в точке 5, определяется по закону Гука из следующего выражения:

$$\Delta x_2 = \frac{F_K}{C_2} = 2\alpha \sin \alpha^\circ,$$

где F_K – контактное нажатие в нормально-замкнутой паре;

C_2 – жесткость контакт-детали 2;

α – величина перекрытия нормально-замкнутой пары;

α° – угол между плоскостью подвижной контакт-детали 1 и свободным концом контакт-детали 2, являющейся упором для контакт-детали 1 при обеспечении контактного нажатия в нормально-замкнутой паре.

Если контактное нажатие F_K в нормально-замкнутой паре недостаточно, возможно зависание подвижной контакт-детали 1, как показано на рис. 7, представляющем зависимость тяговой 6 и противодействующей 7 характеристик магнитоуправляемого контакта. При плавном увеличении внешнего магнитного поля подвижная контакт-деталь 1 размыкается с контакт-деталью 2 в точке 5, в которой контактное нажатие нормально-замкнутой пары компенсируется силой притяжения подвижной контакт-детали 1 к неподвижной контакт-детали 3. Зависание подвижной контакт-детали 1 заканчивается в точке 8, в которой тяговая 6 и противодействующая 7 характеристики имеют единственную общую точку соприкосновения.

Условие полного отсутствия зависания подвижной контакт-детали 1 при скачкообразном переключении магнитоуправляемого герметизированного контакта представлено на рис. 6 и заключается в совмещении точки 5 с точкой 8 или расположении точки 5 в промежутке между точками 8 и 9 на противодействующей характеристике 7. В этом случае контактное нажатие F_K в нормально-замкнутой паре меньше или равно силе электромагнитного притяжения контакт-деталей нормально-разомкнутой пары для критического зазора x_2 , соответствующего точке 8.

В случае, когда контактное нажатие в нормально-замкнутой паре отсутствует, противодействующая характеристика магнитоуправляемого контакта представляет собой отрезок прямой пересекающей оси координат на рис. 8 в точках 9 и x_3 при совмещении точки x_0 с началом координат по оси абсцисс, так как значением x_0 можно пренебречь, если суммарная толщина немагнитного контактного покрытия в нормально-разомкнутой паре не превышает несколько микрон. В этом случае для точки 9, характеризующей замкнутое состояние нормально-разомкнутой пары, возвратное усилие для подвижной контакт-детали 1 определяется из соотношения $F_y = C_1 \cdot x_3$, где C_1 – жесткость контакт-детали 1, а x_3 – виртуальный зазор нормально-разомкнутой пары при отсутствии контактного нажатия в нормально-замкнутой паре.

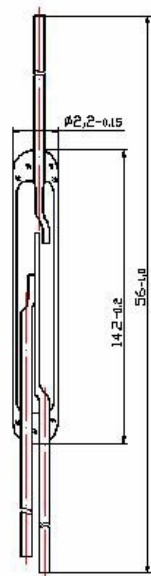


Рис. 5.

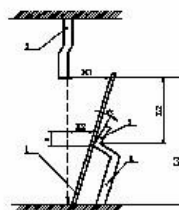


Рис. 6.

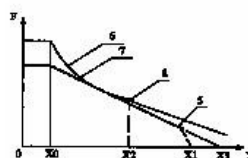


Рис. 7.

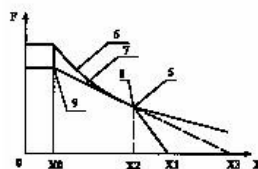


Рис. 8.

Согласно данным К.И. Харазова «Устройства автоматики с магнитоуправляемыми контактами», Москва, Энергоатомиздат, 1990 г., зазоры x_2 и x_3 связаны следующим соотношением:

$$x_2 = \frac{x_3}{3} \left(2 - \frac{C_{1x3}}{C_1} \right) = \frac{x_3}{3} \left(2 - \frac{1}{K} \right),$$

где C_{1x3} – магнитная проводимость зазора x_3 , C_1 – магнитная проводимость подвижной контакт-детали 1, $K = C_1/C_{x3}$ – коэффициент магнитной проводимости герметизированного контакта.

Учитывая, что относительная магнитная проницаемость пермаллоя, из которого выполнены контакт-детали, в 1500 раз больше магнитной проницаемости воздушного зазора x_3 , а также учитывая наличие неподвижной контакт-детали 2, образующей нормально-замкнутую пару с контакт-деталью 1, с большой вероятностью можно принять $K > 10$, имеющий область существования $0 \leq K \leq \infty$.

Пренебрегая значением $1/K$, получаем $x_2 = \frac{2}{3}x_3$ и, соответственно, $F_{уд} = \frac{3}{2}C_1 \cdot x_2$. С другой стороны, согласно рис. 8 для случая совпадения точек 5 и 8

$$F_{уд} = C_1 \cdot x_2 + F_K = C_1 \cdot x_2 + C_2 \cdot 2\alpha \cdot \sin \alpha^\circ.$$

Откуда для совместной точки 9 справедливо уравнение: $\frac{3}{2}C_1 \cdot x_2 = C_1 \cdot x_2 + C_2 \cdot 2\alpha \sin \alpha^\circ$, или $x_2 = \frac{4C_2}{C_1} \alpha \sin \alpha^\circ$

В этом случае оптимальное исходное значение зазора x_1 в нормально-разомкнутой паре между контакт-деталью 1 и 3 из подобия треугольников на рис. 6 со сторонами x_1, l_1 и $x_2(l_1 - l_2)$ определяется из выражения:

$$x_1 = x_2 \left(\frac{l_1}{l_1 - l_2} \right) = \frac{4C_2}{C_1} \alpha \sin \alpha^\circ \left(\frac{l_1}{l_1 - l_2} \right),$$

где l_1 – длина подвижной контакт-детали 1;

l_2 – величина смещения центров перекрытий нормально-разомкнутой и нормально-замкнутой пар вдоль продольной оси баллона;

α – величина перекрытия нормально-замкнутой пары;

C_1 – жесткость подвижной контакт-детали 1;

C_2 – жесткость контакт-детали 2, являющейся упором нормально-замкнутой пары;

α° – угол между плоскостью подвижной контакт-детали 1 и свободным концом 5 упора 2 нормально-замкнутой пары.

На величину угла α° накладываются следующие ограничения. Во-первых, по обеспечению оптимального значения (0,03-0,05)Н контактного нажатия в нормально-разомкнутой паре, определяемого как разность ординат кривой 6 и прямой 7 в точке 9 на рис.8, а во-вторых, по нижней границе неравенства

$\frac{x_3}{3} \leq x_2 \leq \frac{2x_3}{3}$, устанавливающего область допустимых зазоров, при которых обеспечивается скачкообразное переключение подвижной контакт-детали без зависания.

Исходя из этого неравенства и проводя оценку исходных величин контактного нажатия в нормально-замкнутой паре, можно утверждать, что величина контактного нажатия для $x_2 = \frac{x_3}{3}$ равна удвоенному значению конечного нажатия для x_2 в предположении, что жесткости C_1 и C_2 постоянны.

Очевидно, что большему по абсолютной величине контактному нажатию соответствует больший угол α° . Можно записать следующее соотношение: $\sin \alpha^\circ = 2 \sin \alpha^\circ / 2$. Отсюда для неравенства

$\frac{x_3}{3} \leq x_2 \leq \frac{2x_3}{3}$ следует $15^\circ \geq \alpha^\circ \geq 0^\circ$.

В герконах, изготовленных согласно вышеуказанному, угол альфа находился в пределах 1-10°. Таким образом, мы имеем все необходимые соотношения для практической реализации конструкции.

В качестве рабочего контактного покрытия в герконе МКС-14104 применен рутений по подслою золота и сплава вольфрам-кобальт.

Результатом разработки явилось создание миниатюрного переключающего геркона МКС-14104, его освоение серийным производством и организация поставок на внутренний и внешний рынки. Следует заметить, что по комплексу характеристик данный геркон не имеет аналогов за рубежом. Ниже приводятся основные характеристики геркона МКС-14104 и лучшего зарубежного аналога фирмы «ОКІ» Япония.

На базе геркона МКС-14104 созданы реле РГК 41, РГК 51, РГК 53, организовано их производство.

Таблица 1

Основные параметры	МКС-14104	ORT-511
Габаритные размеры:		
диаметр баллона, мм	2,2 _{-0,15}	2,54
длина баллона, мм	14,2 _{-1,0}	14,0
длина геркона с выводами, мм	56 _{-1,2}	56,1
МДС срабатывания, А	10 – 20	10 – 30
Сопротивление, Ом не более	0,1	0,1
Максимальный коммутируемый ток, А	0,5	0,2
Максимальное коммутируемое напряжение, В	60	30
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	15	3

Разработка серии миниатюрных замыкающих герконов МКА-07101, МКА-10109, МКА-14103

До середины 90-х годов ОАО «РЗМКП» выпускало всего один тип миниатюрных герконов (МКА-10-3) специального применения. Возможности производства этого геркона были ограничены несимметричностью конструкции (расположение контакт-деталей внутри баллона геркона), что приводило к удорожанию и затрудняло техпроцессы производства, в первую очередь, заварку на автоматическом оборудовании. К тому же времени несимметричные конструкции герконов практически исчезли из каталогов инофирм (по-видимому, по тем же причинам). Так как потребности России упали практически до нуля, то встала задача создания миниатюрных герконов с экспортными перспективами.

На этом этапе в 1998-2000 гг. были созданы базовые конструкции герконов с длиной колбы 7, 10 и 14 мм, аналоги которых уже имели спрос на мировом рынке.

Миниатюризация герконов всегда связана со снижением контактного нажатия и, следовательно, с увеличением переходного сопротивления, снижением его стабильности. Заданные габариты стеклянной колбы ограничивают диаметр проволоки, из которой должны изготавливаться контакт-детали, т.е. ширина и длина расплюсченных частей деталей должны вписываться в заданные размеры стеклянной трубки, обеспечивая при этом минимальный зазор, необходимый для выполнения требований по электрической прочности изоляции, вибро- и ударопрочности, чувствительности срабатывания.

В основу расчета характеристик намагничивания и притяжения контактов, геометрии, а также межконтактного зазора и перекрытия положены методики, основанные на результатах экспериментальных исследований и законах Максвелла по электромагнитизму (большинство из них выполнено на основе многолетнего сотрудничества со школой профессора В.Н. Шоффы из Московского энергетического института). Отдельные характеристики конструкции, как правило, уточняются по признакам оптимальности с учетом возможностей технологического процесса. Например, при выборе перекрытия контакт-детали необходимо учитывать следующие факторы:

- при малых значениях перекрытия контакт-деталей магнитное насыщение в области перекрытия наступает раньше, чем напряженность магнитного поля достигает величины, необходимой для срабатываний герконов, т.е. происходит увеличение магнитного сопротивления и, как следствие, падение чувствительности геркона. Кроме того, при автоматической сборке и заварке герконов обеспечить выставку малой величины перекрытия практически невозможно;
- в случае большого перекрытия магнитное насыщение контакт-деталей происходит раньше, чем напряженность поля в области перекрытия достигает величины, необходимой для замыкания геркона, т.е. также увеличивается магнитное сопротивление, приводящее к увеличению МДС.

Таким образом, величина перекрытия должна иметь оптимальное значение, как с точки зрения магнитных характеристик, так и с точки зрения обеспечения автоматической сборки и заварки.

Для миниатюрных герконов накладываются особые требования (из-за низкого контактного нажатия) к виду, качеству, чистоте и толщине контактного покрытия. Поэтому выбору, обработке в условиях производства покрытий для этих герконов предшествовал большой комплекс исследовательских работ, завершившийся внедрением контактного покрытия на основе рутения. Его выбор был предопределен тем, что удалось получить тонкие эрозионностойкие покрытия для работы геркона во всем диапазоне предъявляемых требований. Отечественные конструкции герконов с длиной колбы 7, 10, 14 мм на основе покрытия из рутения ничем ни отличаются, а в некоторых случаях и превосходят зарубежные аналоги, где используется родиевые покрытия (см. таблицу 2).

Таблица 2

Основные параметры	МКА-07101	0213 (Германия)	МКА-10109	МІТІ 3 (США)	МКА-14103	ORD-228 (Япония)
Контактное покрытие	Рутений	Родий	Рутений	Родий	Рутений	Родий
Габаритные размеры:						
диаметр баллона, мм	1,8	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2
длина баллона, мм	7,0	7,0	10,0	10,0	14,0	14,0
МДС срабатывания, А	7-35	10-40	10-35	10-40	8-35	10-50
Сопротивление, Ом не более	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1
Максимальный коммутируемый ток, А	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
Максимальное коммутируемое напряжение, В	30	24	100	100	150	100
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	5	3	10	10	15	15

Разработка герконов повышенной мощности, переключающего МКС-27701 и замыкающего МКА-36201

Конструктивно герконы выполнены на базе серийных конструкций герконов МКС-27102 и МКА-36701 (см. рис. 1).

Повышенные коммутационные возможности герконов обеспечиваются использованием специально разработанного контактного покрытия на основе сплава вольфрам-кобальт.

В таблице 3 приводятся сравнительные характеристики герконов МКС-27701 и МКА-36201 и зарубежных аналогов.

Следует отметить, что повышенную коммутируемую мощность для указанных герконов удалось получить в значительно меньших габаритах, чем у лучших зарубежных аналогов.

На базе этих герконов разработаны и освоены реле РГК 52 и РГК 54.

Таблица 3

Основные параметры	МКС-27701	HSR-634 (США)	МКА-36201	ZW-104 (Польша)
Контактное покрытие	Сплав WCo	Родий	Сплав WCo	Вольфрам
Габаритные размеры:				
диаметр баллона, мм	5,2	5,3	5,2	5,2
длина баллона, мм	28	34	36	50
МДС срабатывания, А	60-85	60-100	50-80	70-110
Сопротивление, Ом не более	0,2	0,3	0,2	0,2
Максимальный коммутируемый ток, А	3,0	3,0	3,0	3,0
Максимальное коммутируемое напряжение, В	150	120	250	250
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	120	100	250	180

Разработка высоковольтного геркона МКА-40142

Разработкой геркона преследовалась цель удовлетворения потребностей отдельных потребителей в высоковольтных герконах с габаритами по длине не более 40 мм и с сохранением основных требований по другим характеристикам (в частности, по значению электрической прочности) для герконов больших габаритов. Эта величина определяет возможность работы геркона при коммутации высоковольтных сигналов постоянного и переменного токов и в режиме длительного нахождения под высоким напряжением.

Разработке предшествовала большая экспериментально-расчетная работа по оценке возможностей создания такого класса коммутационных приборов в малых габаритах (известные конструкции высоковольтных герконов с пробивным напряжением более 10 кВ имеют длину 52 мм). Использовались материалы совместных с Рязанской радиотехнической академией работ по теории электрического пробоя, работ по созданию реальных конструкций ранее выпускаемых герконов МКА-52141 и МКА-52142.

Сравнительные характеристики геркона МКА-40142 и его ближайших аналогов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основные параметры	МКА-40142	DRVT-10 (США)	ZW-132 (Польша)
Габаритные размеры: длина баллона, мм	40	52	50
МДС срабатывания, А	130-180	150-200	150-200
Электрическая прочность изоляции, кВ	10	10	10

Типовой технологический маршрут производства герконов (см. рис. 9) состоит из пяти основных групп операций:

- подготовка проволоки из магнитомягких сплавов и изготовление контакт-деталей;
- подготовка исходных стеклотрубок и изготовление стеклобаллонов;
- нанесение контактных покрытий;
- сборка – заварка;
- заключительные операции, испытания.

Хотя технологический маршрут достаточно отработан, много лет используется в производстве, на этапе перехода на мировой рынок, он был подвергнут существенным усовершенствованиям. Они были направлены, в первую очередь, на повышение и сохранение степени очистки контакт-деталей и стеклотрубок на всех этапах производства, повышение прочности спаев стекла с металлом, обеспечение возможности заварки герконов в узких группах чувствительности, внедрение в техпроцесс новых информативных параметров и средств оценки качества.

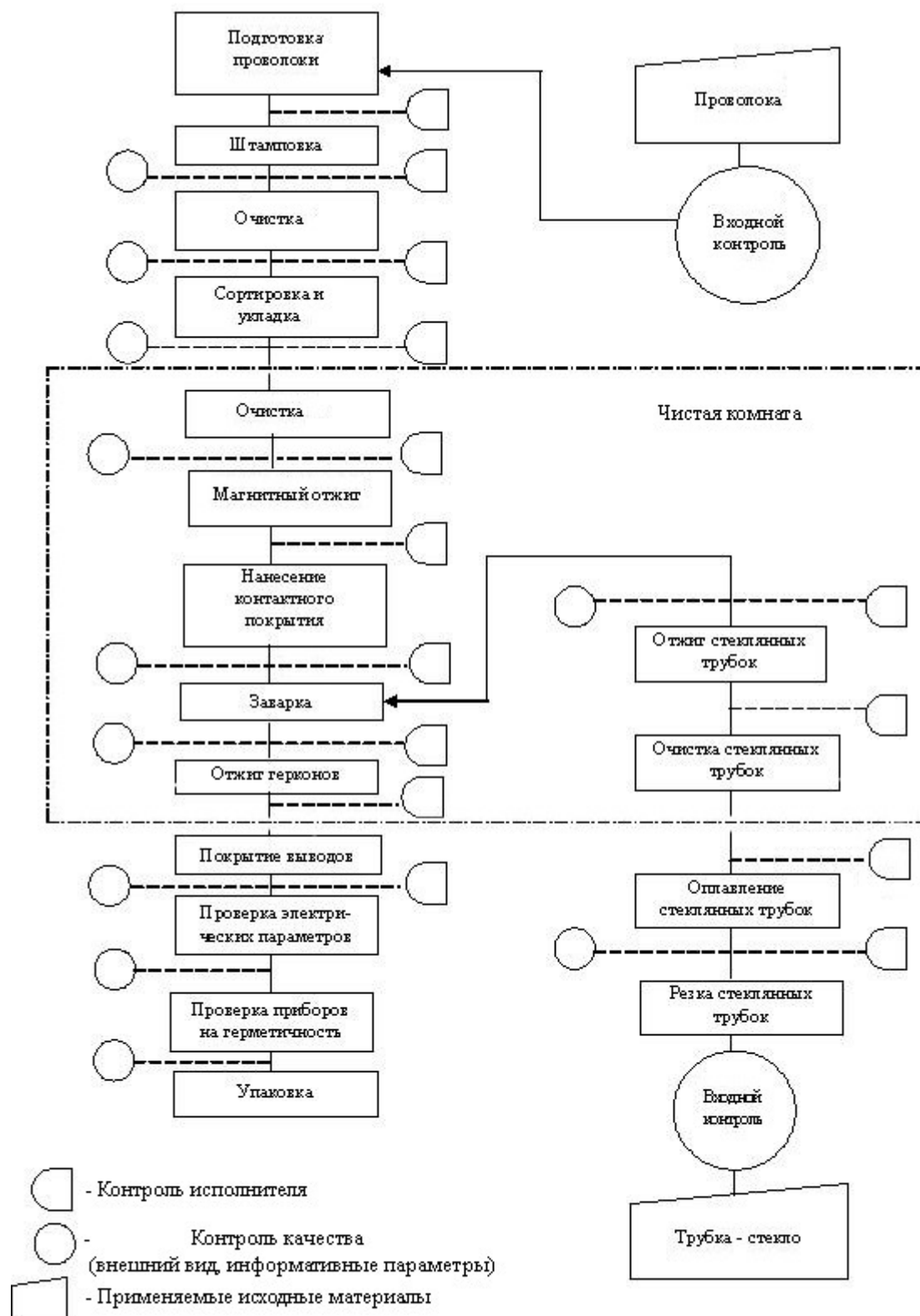


Рис. 9. Типовая схема технологического маршрута производства герконов.