

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВИБРО- И УДАРОУСТОЙЧИВОСТИ ЯКОРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ГЕРКОНОВЫХ РЕЛЕ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ШСВ (ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ)

Е.П. Чепаксин

429820, пл. Октябрьской революции 23, г. Алатырь, Чувашия,
ОАО «Завод «Электроприбор»

Представлена информация по воздействию широкополосной случайной вибрации на различные типы реле. Показан достигнутый уровень устойчивости реле при воздействии синусоидальной вибрации и ударов. Проведена оценка устойчивости реле к воздействию ШСВ, приведены преимущества и недостатки якорных и герконовых реле.

The information on influence of the broad-band random on various relay types is presented. The reached relay resistance level when influenced by sinusoidal vibrations and impacts has been shown. The resistance of relay to effect of the broad-band random is evaluated; advantages and disadvantages of the armature and reed relays are considered.

Вступление

ОАО «Завод «Электроприбор» является разработчиком и производителем слаботочных, до 25 А, электромагнитных якорных и герконовых реле. Одновременно наше предприятие производит аппаратуру, в том числе авиационного назначения, в которой применяются некоторые типы реле (табл. 1).

ОАО «Завод «Электроприбор» входит в холдинг «Аэроэлектромаш», состоящий из 7 предприятий общей численностью около 20 000 человек, которые также применяют большую номенклатуру реле.

Таблица 1

Общие характеристики реле РЭС 52, РЭС 55, РГК 155 исполнений при $U_p = 27$ В

Основные характеристики	РЭС52	РЭС55	РГК155	Примечание
1	2	3	4	5
Масса, г	8	6,0	2,8	
Коммутируемый ток, max, А	1,0	0,5	0,5	
Коммутируемый ток одного контакта/масса, А/г	0,25	0,083	0,17	Для ОКР «БУГОР» (РГК255) 0,34
Сопротивление обмотки, Ом	830±125	1880±282	5 600±1120	Для ОКР «БУГОР» (РГК255) 3300±500
Напряжение сраб., (Уср.), В не более	9,9	16,2	10	Для исполнений Ураб – 27 В
Напряжение отп., (Уотп.), В не более не менее	6,0 1,5	1,8	2,2	Для исполнений Ураб – 27 В

1. Уровень устойчивости реле при воздействии синусоидальной вибрации и ударах (по ТУ на изделия РЭС 52, РЭС 55, РГК 155) приведен в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики	РЭС52	РЭС55	РГК155	Примечание
1	2	3	4	5
Синусоидальная вибрация: диапазон частот, Гц амплитуда ускорения, м/с ² (g) время воздействия по ГОСТ 2057.406-81, ч	1-3000 200(20) 36	50-3000 250(25) 36	1-3000 200(20) 36	КТЗ для РЭС52 -30 g; РГК155 -25 g
Случайная широкополосная вибрация: устойчивость при воздействии ШСВ диапазон частот, Гц среднеквадратичное значение ускорения, м/с ² (g) спектральная плотность ускорения, g ² /Гц	20-50 50-500 500-2000 117,6(12) 0,004-0,02 0,02 0,08	- - -	20-2000 100(10) 0,05	
Прочность при воздействии ШСВ диапазон частот, Гц уровень дисперсии виброускорения, % среднеквадратичное значение ускорения, м/с ² (g)	20-180 180-355 355-710 710-1400 1400-2000 2 8 15 65 10 196(20)	- - -	20-2000 100(10)	
Время воздействия ШСВ, ч	18	-	36	
Акустический шум: диапазон частот, Гц уровень звукового давления, дБ	50-10 000 150		50-10 000 160	
Механический удар одиночного действия: количество ударов пиковое ударное ускорение, м/с ² (g) длительность действия ударного ускорения, мс Механический удар многократного действия: количество ударов пиковое ударное ускорение, м/с ² (g) длительность действия ударного ускорения, мс	9 5000 (500) 600 4000 10 000 1500(150) 750(75) 400(40) 7-15	9 1500(150) 4000 10 000 750(75) 350(35) 1-5	9 7500(500) 0,1-0,2 4000 10 000 1500(150) 350(35) 1-5	Контрольное время размыкания для РЭС52 – (10±2) мкс; для РЭС55, РГК155 – (100±20) мкс.
Линейное ускорение: - значение линейного ускорения, м/с ² (g)	500(50)	500(50)	1000(100)	

2. Уровень заявляемых требований к механическим воздействиям, в том числе и воздействию ШСВ (по сообщениям потребителей о разработке перспективных реле)

2.1. Материалы по проверке удароустойчивости

Определение среднеквадратического значения пикового ударного ускорения одиночного механического удара, при котором происходит размыкание нормально-замкнутого контакта реле РЭС 155 (контрольное время размыкания 1 мкс).

Исследованиям подвергались 5 реле РГК 155 КСИШ.647116.003 ТУ, закрепленные в разных положениях на приспособлении по проверке удароустойчивости.

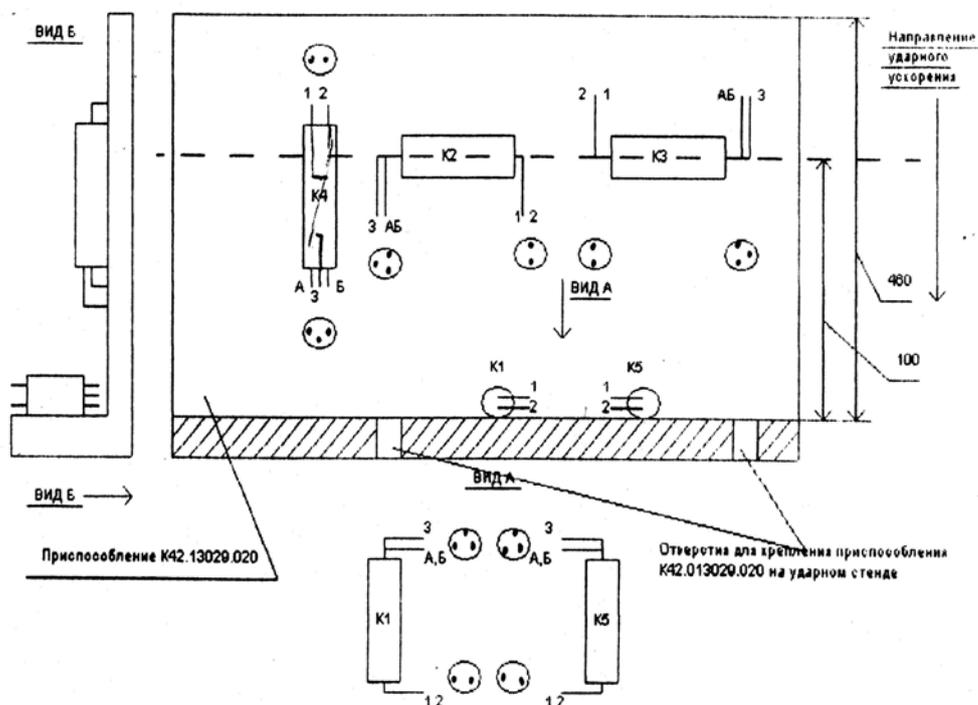


Рис. 1. Размещение реле на приспособлении.
K1-K5 – исследуемые реле РГК 155

Результаты исследований

При воздействии однократного механического удара:

- 1) с пиковым ударным ускорением 50 g, длительностью ударного импульса 2,05 мс - отсутствует размыкание НЗ контактов реле в критичном положении относительно воздействия механического удара (вектор удара перпендикулярен плоскости контактов);
- 2) с пиковым ударным ускорением 65 g, длительностью ударного импульса 1,8 мс - зафиксированы сбои НЗ контактов реле в критичном положении относительно воздействия механического удара (вектор удара перпендикулярен плоскости контактов), с параметрами $\tau_{\text{зад}} = 1,56$ мс; $\tau_{\text{один}} = 120$ мкс; $\tau_{\text{общ.}} = 6,72$ мс (≈ 12 импульсов);
- 3) с пиковым ударным ускорением 150 g, длительностью ударного импульса 1,2 мс - отсутствует размыкание НЗ контактов реле в некритичном положении относительно воздействия механического удара (вектор удара параллелен плоскости контактов).

Анализ результатов исследований

I. Минимальное значение пикового ударного ускорения, приводящее к размыканию контактов реле, находится в диапазоне 50 – 100 g.

II. Величина пикового ударного ускорения, приводящего к размыканию контактов реле, зависит от направления прилагаемого удара.

Рекомендации

I. Применить систему из двух реле РГК 155, расположенных на плате соосно и навстречу друг другу с параллельным подключением НЗ контактов (рис. 2).

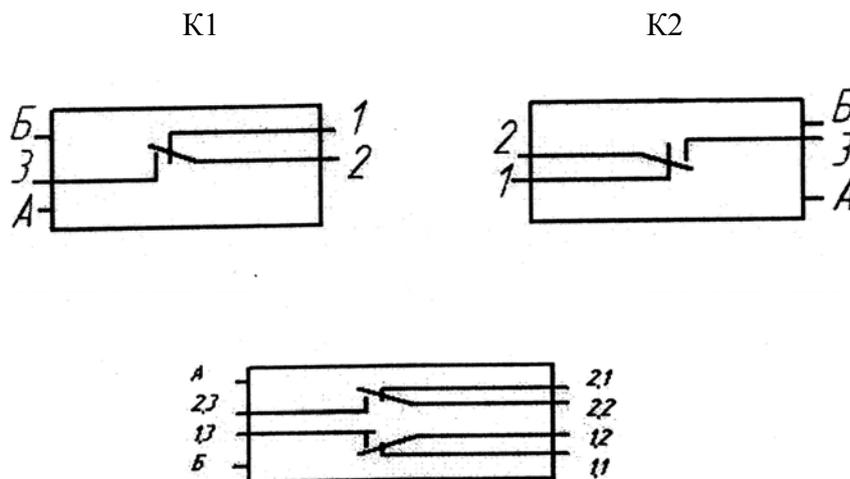


Рис. 2. Система реле с параллельным подключением НЗ контактов

При этом подвижные контакты будут колебаться в противофазе и обеспечивать ударную устойчивость не ниже 100 g.

II. Рассмотреть необходимость введения в ТЗ и ТУ на РГК 255 (ОКР «Бугор») режима ударной устойчивости при параллельном подключении НЗ контактов двух герконов.

Рекомендации п. I, II могут быть актуальными не только для удароустойчивости, но и для виброустойчивости, в том числе и при воздействии ШСВ, как для НЗ контакта, так и для НР при снижении рабочих напряжений.

Указание на наиболее критичное к механическим воздействиям положение в инструкции по эксплуатации или введение повышенных механических характеристик для него в технических условиях на реле могут быть использованы значительным количеством потребителей.

Для переключающего геркона МКС-14104 (ЯВАФ.685191.001 ТУ), при его применении в реле, положение плоскости контактов однозначно определяется положением выводов. Для замыкающего геркона МКА-10110 (СЯО.360.025 ТУ) в отличие от геркона МК 10-3 (ДЕО.483.000 ТУ) отсутствует возможность ориентировки при сборке реле.

2.2. По отношению к согласованным протоколом режимам реле РЭС 52, в техническом задании ОКР «Завет» требования к механическим факторам по синусоидальной вибрации и ШСВ заданы более жестко, т.е. устойчивость и прочность при воздействии ШСВ не зависят от частот при среднеквадратичном значении ускорения 20 g.

На РГК 155 (ОКР «Стрелка») изначально закладывались требования по синусоидальной вибрации по диапазону частот 1-3000 Гц с амплитудой ускорения 25 g. Но в связи с ограничением требований по геркону МКС-14104 требование снижено до 20 g. Это единственный параметр реле РГК 155, сниженный по отношению к прототипу – реле РЭС 55.

В реле, выпускаемых фирмой «LEACH» (США), задается требование к вибрации 30g; 10-3000 ГЦ.

При модернизации реле РЭС 55 (РС0.456.011 ТУ) (РГК 37 КСИШ.647116.001 ТУ) или разработке новых реле на базе геркона, заменяющего КЭМ 3 (СЯО.360.025 ТУ), потребители очевидно пожелают сохранить достигнутый уровень механических параметров. Чем быстрее мы получим новый геркон, тем быстрее будет установлен уровень чувствительности новых реле. На чувствительность этих реле сильно повлияет кроме герконов применение эмалированных проводов с качеством изоляции не хуже фирмы «ELEKTRISOLA».

3. Оценка устойчивости реле РЭС 55 к воздействию ШСВ по материалам научно-технического отчета по НИР «Вибрация»

3.1. ГОСТ 2057.406-81 устанавливает для испытаний четыре группы жесткости воздействия ШСВ, сведения о которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

Испытательные режимы при воздействии ШСВ

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Ср. квадратн. значение ускорения, g	Спектральная плотность ускорения, g/Гц
I с	20-2000	10	0,05
II с	20-2000	20	0,20
III с	20-5000	30	0,20
IV с	20-5000	50	0,5

3.2. Исследование устойчивости реле к воздействию ШСВ

При проведении исследовательских испытаний испытаниям на виброустойчивость подвергались герконовые реле РЭС 55 в количестве 15 шт.

Испытания проводились на установках УВЭ-Ю4 с системой управления акустическими установками СУ АУ и С CS713R210.

При испытаниях на виброустойчивость воздействие ШСВ осуществлялось ступенями с возрастанием среднеквадратичного значения ускорения (СКЗУ) и, соответственно, увеличением величины спектральной плотности ускорения (СПУ) в диапазоне частот 20-2000 Гц:

I ступень СКЗУ – 10g; СПУ – 0,05 g²/Гц;

II ступень СКЗУ – 20g; СПУ – 0,2 g²/Гц;

III ступень СКЗУ – 30g; СПУ – 0,45 g²/Гц.

Длительность воздействия ШСВ на каждой ступени – 18 мин. (по 3 мин. в каждом из трех положений и состояний реле).

Результаты испытаний представлены в табл. 4, где указано (с учетом исследовательских испытаний) количество реле, у которых зафиксированы первые случаи нарушения контактирования (на любом оборудовании) на данной ступени ШСВ.

Таблица 4

Количество реле, имевших нарушение контактирования при воздействии ШСВ в диапазоне частот 20-2000 Гц (приведены первые случаи нарушения контактирования)

Тип реле	Количество реле, имевших нарушения контактирования при воздействии ШСВ			Общее время воздействия ШСВ при испытаниях на виброустойчивость
	10g 0,05g ² /Гц	20g 0,20g ² /Гц	30g 0,45g ² /Гц	
РЭС 55	нет	9	2	54 мин.

3.3. Сравнительные испытания реле при воздействии ШСВ на разном оборудовании

Испытания изделий на воздействие ШСВ на разном испытательном оборудовании могут давать разные результаты, и устанавливаются три метода испытаний, обеспечивающих разную воспроизводимость результатов: высокая воспроизводимость (с наиболее жесткими допусками на параметры ШСВ и нормированием величины ускорения за пределами рабочего диапазона частот), средняя и низкая воспроизводимость (с наиболее широкими допусками и отсутствием нормирования величины ускорения за пределами частотного диапазона).

Для проверки сопоставимости результатов проведены испытания реле РЭС 55 в количестве 15 шт. на разном оборудовании разных организаций.

Испытательное оборудование

1. Установка вибрационная электродинамическая УВЭ-1-004 с системой управления акустическими установками СУАУ.

2. Комплексная камера CS713R210 (Япония).

Методика испытаний

Проверка виброустойчивости (фиксация нарушений контактирования) прибором ВР-5 при воздействии ШСВ в диапазоне частот 20-2000 Гц с параметрами:

I ступень СПУ – 0,05 g²/Гц; (СКЗУ – 10g),

I ступень СПУ – 0,2 g²/Гц; (СКЗУ – 20g),

I ступень СПУ – 0,45 g²/Гц; (СКЗУ – 30g).

На оборудовании № 2 испытания проводились при первых двух ступенях ускорения. Крепление приспособления (куба) к столу вибростенда осуществлялось с помощью шпильки (оборудование № 1) или с помощью канифольной мастики (оборудование № 2). Крепление реле к приспособлению в обоих случаях осуществлялось с помощью канифольной мастики.

Имеется существенное расхождение результатов испытаний одних и тех же реле.

Результаты испытаний реле представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытаний реле РЭС 55 на разном оборудовании при одинаковом способе крепления реле

№ реле	Наличие (+) нарушения контактирования при ускорениях на оборудовании по № 1 и № 2					
	10g		20g		30g	
	1	2	1	2	1	2
1				+		
2						
3						
4				+	+	
5						
6				+	+	
7				+	+	
8					+	
9				+		
10				+		
11				+	+	
12				+	+	
13					+	
14				+		
15						

При воздействии синусоидальной вибрации и при креплении разными способами ускорение на корпусе реле (при определенных частотах) было больше, чем на столе вибростенда.

Таким образом, в результате проведенных сравнительных испытаний установлено:

- на воспроизведение результатов испытаний на виброустойчивость реле при воздействии ШСВ большое значение оказывает способ крепления приспособления к столу вибростенда и реле к приспособлению;

- для повышения воспроизводимости результатов испытаний необходимо обеспечивать аналогичные методы крепления,

- наиболее распространенным является способ крепления с помощью канифольной мастики;

- наиболее критичны к воздействию ШСВ реле, имеющие язычковые контакты.

3.4. Виброустойчивость герконовых реле

3.4.1. Виброустойчивость герконовых реле определяется устойчивостью применяемых герконов, которая характеризуется собственными резонансными частотами деталей геркона с величиной силы контактного нажатия замкнутых контактов. Сила контактного нажатия, как правило, в герконах невелика, что определяет их недостаточную виброустойчивость. Испытания реле РЭС 55 показали их более низкую стойкость к воздействию ШСВ по сравнению с электромагнитными реле (размыкание НЗ контактов у большинства реле).

Повышение виброустойчивости может быть осуществлено за счет повышения величины силы контактного нажатия путем создания дополнительного поляризующего тока от постоянного магнита.

3.4.2. Виброустойчивость реле РЭС 55 с увеличенным контактным нажатием НЗ контактов

Проведение испытания серийных реле РЭС 55 показало их невысокую виброустойчивость вследствие саморазмыкания НЗ контактов при воздействии ШСВ.

С целью проверки возможности повышения виброустойчивости при увеличении силы контактного нажатия, в серийных реле (11 штук), имевших нарушения контактирования при ШСВ, был установлен постоянный магнит между выводами геркона – размыкающимся и переключающим (рис. 3).

Поляризующий магнитный поток увеличил силу контактного нажатия, при этом напряжение срабатывания возросло. Реле с постоянным магнитом испытывались на виброустойчивость при воздействии ШСВ; результаты испытаний сравнивались с виброустойчивостью, которую имели эти реле до установки магнитов. Результаты испытаний представлены в табл. 6.

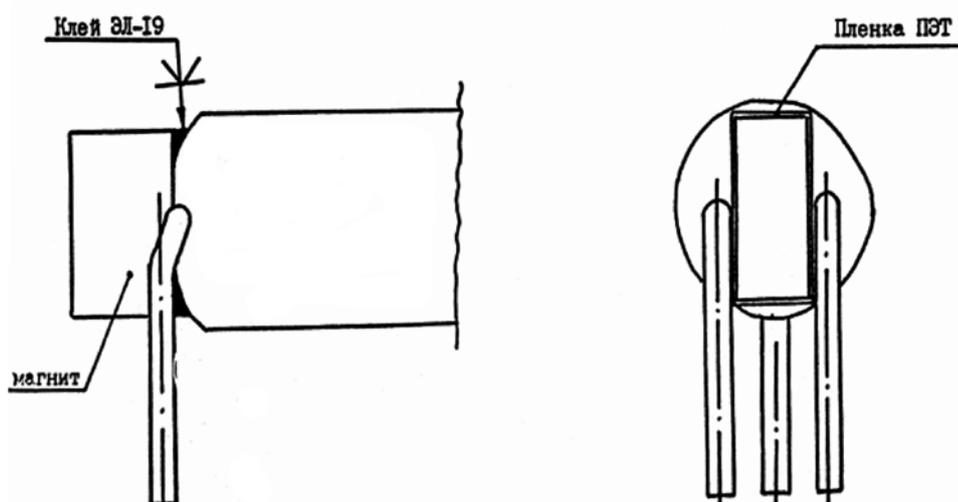


Рис. 3. Реле РЭС 55 с постоянным магнитом между размыкающимся и переключающим контактами

Таблица 6

Результаты испытаний реле РЭС 55 серийных (без магнитов) и с постоянными магнитами при воздействии ШСВ в диапазоне частот 20-2000 Гц

№№ реле	Наличие (+) размыкания НЗ контактов при СКЗУ					
	реле без магнитов			реле с постоянными магнитами		
	10g	20g	30g	10g	20g	30g
1		+				+
2		+				+
3		+				+
4		+				+
5		+				+
6		+				+
7		+				+

8			+			
9		+				+
10		+				
11		+				+
12		+				+
13			+			
14		+				+

Примечания:

1. Направление вибрации - перпендикулярно плоскости контактов геркона.
2. Обмотка реле обесточена.
3. Фиксация размыкания герконов длительностью 10 мкс осуществлялась прибором ВР-5.

Вследствие увеличения контактного нажатия из-за действия дополнительного поляризующего потока виброустойчивость реле повысилась.

4. Оценка преимуществ и недостатков якорных и герконовых (язычковых) реле. Рекомендации по разработке и применению

На фотографиях рис. 4, 5, 6 представлено реле РЭС 52 после воздействия ШСВ в составе аппаратуры на самолете. Это реле не отработало ни одного коммутационного цикла и получило такие критичные разрушения опорных поверхностей якоря и мест его крепления.

Многочисленными испытаниями установлено, что дребезг контактов при любых механических воздействиях на якорных реле определяется, прежде всего, точностью изготовления якоря. Практическая точность балансировки и зазоров в опорах – это 1-3 сотых доли миллиметра. Таким образом, параллельное подключение контактов в нейтральном якорном реле не изменит его механических свойств.

Поляризованные реле, особенно двустабильные, обладают лучшими механическими свойствами, но имеют другие недостатки в применении (ухудшена электромагнитная совместимость, не допускается переполюсовка, повышена мощность срабатывания, значительно выше цена).

Разработка реле с двумя герконами типа РГК 255 в режиме эксплуатации с параллельным подключением контактов позволит повысить вибро- и удароустойчивость в режиме переключения до уровня ложного срабатывания противоположного контакта, а в режимах абсолютного отсутствия дребезга НЗ контактов – до 100 г.



Рис. 4

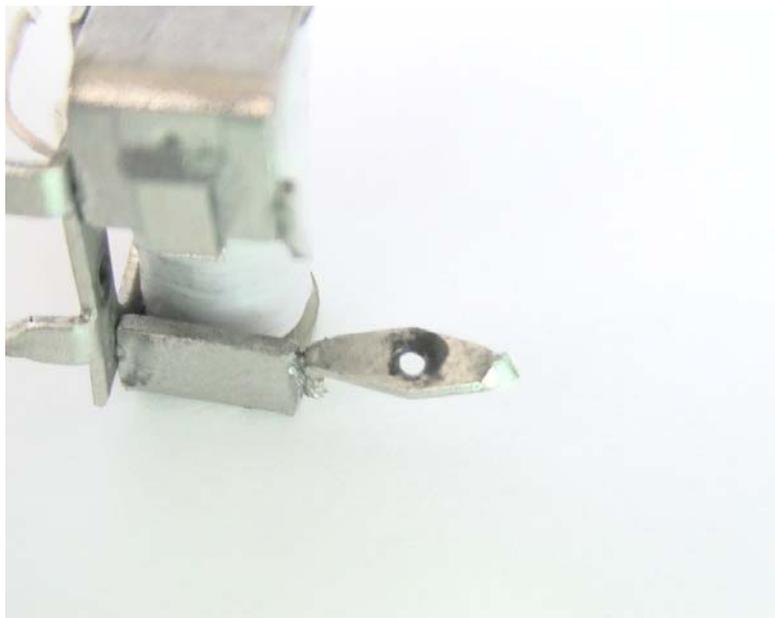


Рис. 5

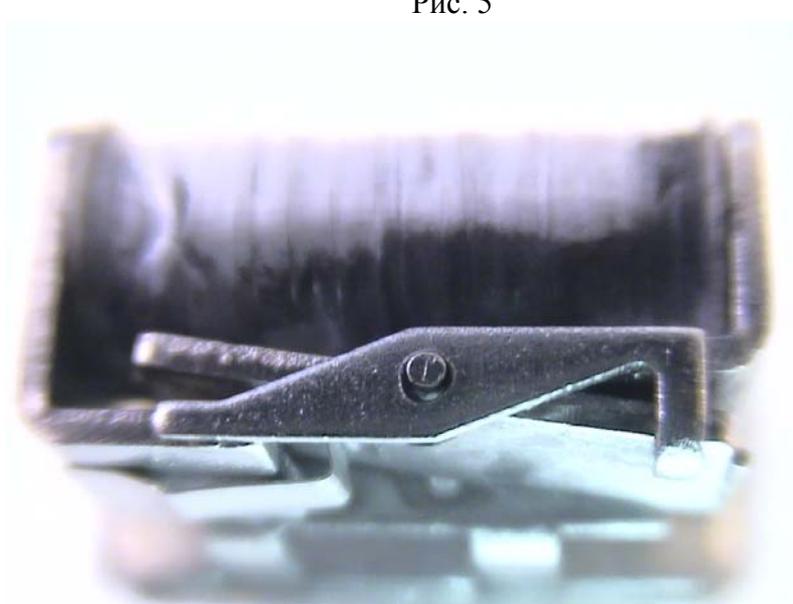


Рис. 6

5. Предложения о порядке проведения работ и испытаний по установлению требований устойчивости реле к воздействию ШСВ

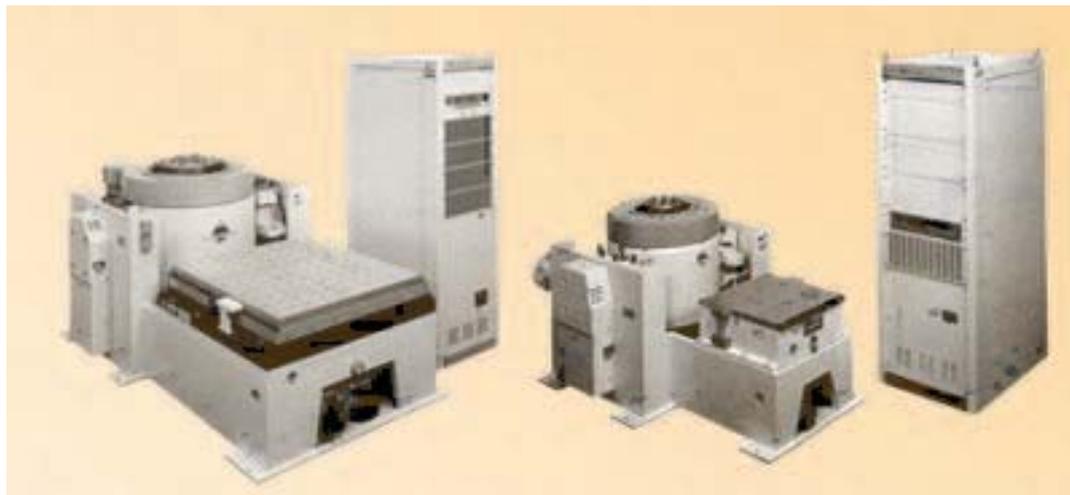


Рис. 7. Вибростенды IMV с улучшенными показателями

Предложения появились как результат разработки и внедрения электродинамического комплекса оценки надежности транспортных средств.

Технические решения привели к рождению вибростендов новейшей серии «i» (рис. 7, табл. 7). Вибростенды этой серии имеют улучшенные показатели, принципиально новую конструкцию подвижных частей, существенно увеличен ресурс и опрокидывающий момент (прочность и жесткость подвески). Установки указанной серии обладают другими поперечными составляющими в отличие от базовых конструкций, просты в обслуживании и не требуют водяного охлаждения. Серии принадлежит рекорд по самой большой по выталкивающему усилию установке с воздушным охлаждением.

В случае комбинированных систем представлена возможность прямого соединения с климатической камерой.

Для упрощения работы с использованием оснастки была унифицирована конфигурация соединений.

Таблица 7

Номенклатура вибростендов

Обозначение системы	Диапазон частот	Выталкивающее усилие					
		Синусоидальный профиль		ШСВ профиль		Ударный профиль	
		Гц	кН	кГ	кН	кГ	кН
I210/06	5-4000	1,17	120	0,59	60	1,17	120
I210/SA1M	5-4000	3,0	307	2,1	215	9,00	919
I210/SA03	5-4000	3,0	307	2,1	215		
I220/SA1M	5-33000	8,0	817	5,6	572	16,0	1633
I230/SA2M	5-3000	16,0	1633	11,5	1173	32,0	3266
I240/SA3M	5-2600	24,0	2449	24,0	2449	48,0	4898
I250/SA4M	5-2600	32,0	3266	32,0	3266	64,0	6531
I250/SA5M	5-2500	40,0	4082	40,0	4082	80,0	8164
I255/SA7M	5-2300	49,0	5000	45,0	4590	98,0	10000
I255L/SA7M	5-2500	49,0	5000	45,0	4590	98,0	10000
I260/SA7M	5-2600	54,0	5511	54,0	5511	108,0	11021
I260L/SA7M	5-2000	54,0	5511	54,0	5511	108,0	11021
Воздушное охлаждение							

В табл. 8 приведены характеристики вибростенда, который приобретен и запущен в эксплуатацию ОАО «Завод «Электроприбор» в конце 2008 года.

Технические характеристики вибростенда I 210/SA1M

Общие характеристики		i210/SA1M
Диапазон частот (без нагрузки), Гц		5-4000
Выталкивающее усилие	Синусоидальный профиль, кН	3,0
	Профиль ШСВ, кН	2,1
	Ударный профиль, кН	9,0
Макс. ускорение, м/с		1000
Макс. скорость, м/с		2,2
Размах перемещений, мм		30
Допустимая нагрузка на вибростол, кг		120
Потребляемая мощность, кВт		6,8
Актуатор		1210
Масса подвижных частей, кг		3,0
Диаметр вибростола, мм		128
Допустимый опрокидывающий момент, Нм		160
Размеры ШхВхГ, мм		868x700э458
Вес, кг		350
Усилитель		SA1M-i10
Выходная мощность, кВА		3,0
Размеры ШхВхГ, мм		580x1750x850
Вес, кг		240
Охлаждение		
Тип охлаждения		Воздушное
Размеры охладителя ШхВхГ, мм		386x882x340
Вес, кг		22,0
Система управления		K2 Sprint 2 канала
По Синус		
ПО Резонанс		
ПО Удар		
ПО Захват		

Выше было наглядно показано различие результатов испытаний на разных стендах. Очевидно, назрела необходимость координации предприятий близкого профиля, как по применению конкретного типа стендов, так и по согласованию методик испытаний и оценки их результатов.

Координирующим органом могут являться различные НИИ, например РНИИ «ЭЛЕКТРОНСТАНДАРТ», г. Санкт-Петербург.