

УДК 623.4.017

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ,*доктор технічних наук, професор,***І. В. КОВАЛЬ,** кандидат технічних наук,**В. В. ЛУК'ЯНЧУК,** кандидат технічних наук*(Науковий центр Повітряних Сил Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків)*

Методичні рекомендації з контролю працездатного стану електричних відривних роз'ємів зенітних керованих ракет

Розглядаються питання контролю працездатного стану електричних відривних роз'ємів зенітних керованих ракет (ЗКР), проведеного при вирішенні задач продовження призначених показників. Обґрунтовується необхідність контролю величини перехідного опору контактів електричного відривного роз'єму. Формуються рекомендації з методики контролю працездатного стану електричного відривного роз'єму з розробкою пристрою контролю на базі імітатора борту ЗКР.

Рассматриваются вопросы контроля технического состояния электрических отрывных разъёмов зенитных управляемых ракет (ЗУР), проводимого при решении задач продления назначенных показателей. Обосновывается необходимость контроля величины переходного сопротивления контактов электрического разъёма. Формируются рекомендации по методике контроля работоспособного состояния электрического отрывного разъёма с разработкой устройства контроля на базе имитатора борта ЗУР.

Одним з призначених показників ЗКР є призначена кількість зчленувань електричного відривного роз'єму. Для вирішення завдань продовження цього призначеного показника необхідно мати методику контролю працездатного стану таких роз'ємів, а також проводити випробування на надійність та за їхніми результатами оцінювати показники надійності. У зв'язку із цим для вирішення задач продовження призначених показників ЗКР актуальним є завдання розробки методичних рекомендацій з контролю працездатного стану електричних відривних роз'ємів ЗКР при їхніх багаторазових зчленуваннях.

З останніх публікацій, пов'язаних з оцінкою працездатного стану електроконтактних з'єднань, можна відзначити [1], в якій розглянутий метод контролю працездатного стану електричних контактних з'єднань, застосовуваних на енергетичних і промислових підприємствах, за їхньою температурою. Показано, що ефективним є періодичний моніторинг температури електроконтактного з'єднання з наступним прогнозом зміни цього параметра з метою прогнозування моменту настання граничного стану.

Однак вибір температури електричних контактних з'єднань як параметра, що визначає працездатний стан, доцільний для контролю працездатного стану нероз'ємних електричних з'єднувачів, що працюють при великих струмах тривалий час. Для роз'ємних електричних з'єднань, зокрема таких, як відривний роз'єм ЗКР, характерними є циклічні режими роботи при відносно малих струмах протягом нетривалого часу. Тому як визначальний необхідно обирати інші параметри, чутливі до зміни працездатного стану відривних роз'ємів ЗКР.

На даний момент фактично не розглянуті проблеми, пов'язані з контролем працездатного стану контактних з'єднань при їхніх багаторазових зчленуваннях і, особливо, працездатного стану електричних відривних роз'ємів ЗКР на етапі продовження призначених показників. Експлуатаційною документацією (ЕД) не передбачений контроль працездатного стану роз'єму. Виходячи із цього, для проведення робіт з продовження актуальним є розробка методики контролю працездатного стану відривних роз'ємів ЗКР.

Завданням дослідження в статті є розробка методичних рекомендацій з контролю працездатного стану електричних відривних роз'ємів при їхніх багаторазових зчленуваннях для вирішення задачі продовження призначених показників ЗКР.

З метою вироблення методичних рекомендацій з контролю працездатного стану роз'ємів розглянемо для прикладу конструкцію відривного роз'єму ШО ЗКР 9М38М1 і фізичні процеси, що відбуваються при його багаторазових зчленуваннях, які впливають на зміну його працездатного стану. Відривний роз'єм ШО ЗКР 9М38М1 (далі – роз'єм) призначений для виконання дистанційного стикування й розстикування борту ЗКР 9М38М1 із самохідною вогневою установкою (СВУ) 9А310М1 або пусковою заряджальною установкою 9А39М1 (ПЗУ) і передачі живильних напруг, електричних сигналів і команд між ЗКР 9М38М1 і СВУ або ПЗУ [2]. Конструктивно роз'єм складається з розетки (части-

на роз'єму з контактами-гніздами, яка знаходиться на СВУ або ПЗУ), і вилки (частина роз'єму з контактами-штирями, яка нерухомо закріплена на ЗКР 9М38М1). Вилка роз'єму, яка складається з металевого корпусу, у якому закріплений пластмасовий ізолятор з армованими в ньому електричними контактами-штирями є його частиною, яка не обслуговується. Розетка роз'єму закріплена на рухливій каретці, що входить до складу стикувального обладнання СВУ або ПЗУ і складається з металевого корпусу, в якому закріплені напрямні штирі. У корпусі розетки закріплений пластмасовий ізолятор, в якому армовані електричні контакти-гнізда. Розетка роз'єму є заміною його частиною [3].

У процесі зчленування роз'єму контакти-штирі вилки роз'єму після з'єднання підтискаються пружинами в контактах-гніздах розетки роз'єму з метою забезпечення більш щільного з'єднання. Передача живильних напруг, електричних сигналів і команд відбувається між контактами-штирями і контактами-гніздами роз'єму. Контакти роз'єму мають різне призначення і забезпечують комутацію кіл передачі сигналів і команд між ЗКР 9М38М1 і СВУ або ПЗУ [1], [4]:

- постійного струму напругою +27 В;
- живильної напруги 3 ф, 220 В, 400 Гц;
- імпульсного послідовного коду.

Розглянемо фактори, що впливають на зміну працездатного стану електричних контактів при їхній взаємодії в процесі зчленування.

Поверхня контакту, як і будь-якого твердого тіла, завжди має шорсткість і хвилястість. Геометричну модель контактної поверхні можна розглядати приблизно як деяку хвилясту поверхню, на якій розташовані сферичні виступи [5]. Наявність шорсткості й хвилястості приводить до того, що дві поверхні завжди контактують тільки в окремих точках. Поверхня, що являє собою сукупність точок, через які передається тиск, називається ефективною поверхнею механічного контакту. Така поверхня є ефективною поверхнею електричного контакту за умови, що вона вільна від непровідних плівок, тобто являє собою чистий метал. Ефективна поверхня контакту є функцією контактного натискання. Під дією зусилля натискання дві поверхні зближуються за рахунок деформації контактуючих виступів і в зіткнення входить усе більша й більша кількість окремих виступів. На практиці контактні поверхні завжди вкриті плівками, що ізолюють одну поверхню від іншої. Основним механізмом провідності електричного контакту є омична провідність через ділянки із чисто металевим контактом, що утворюються внаслідок локального руйнування плівок, тому що навіть при невеликому контактному тиску (порядку 15–100 г) механічний тиск, що діє на плівку на окремих контактуючих виступах, досягає дуже великих значень. Таким чином, основним механізмом провідності в роз'ємних електричних контактах є омична провідність електричного струму через ділянки із чисто металевим контактом. Завдяки тому, що в місці контакту в зіткнення вступає не 100% площ контактуючих поверхонь, виникає перехідний опір контакту, який утворюється внаслідок малої площі контактних точок.

Для захисту контактних поверхонь від плівок, особливо окисних, контакти електричних з'єднувачів покриваються корозійностійкими металами та їх сплавами (золото, срібло, паладій, золото-нікель та ін.). Однак при багаторазовому з'єднанні та роз'єднанні контактних пар покриття на їхніх поверхнях руйнуються, і поверхні, що контактують, втрачають захист від плінкоутворення. Зношування контактів в основному обумовлюється тертям контактуючих поверхонь відносно один одного в процесі з'єднання й роз'єднання електричних роз'ємів. Процес зношування контактів характеризується трьома фазами, як показано на рис. 1.

У першій фазі, якій відповідає кількість зчленувань N_1 , здійснюється припрацювання контактних поверхонь, що характеризується різким зростанням маси матеріалу покриття, вилученого з поверхонь, які труться.

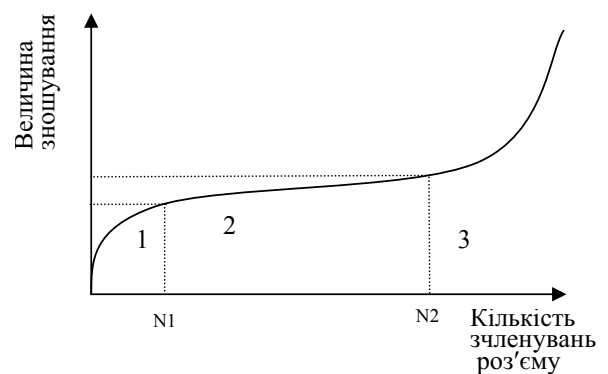


Рис. 1. Фази процесу зношування контактів

Перша фаза становить не більш 5–10% від загального ресурсу роботи електричних з'єднувачів. Друга фаза, якій відповідає кількість зчленувань N_2 , є фазою, коли процес зношування покриття контактних поверхонь є таким, що встановився. Ця фаза характеризується більш рівномірним зношуванням і значно більшим ресурсом роботи в порівнянні з першою фазою – близько 90–95% від загального ресурсу роботи роз'єму. Третя фаза – фаза критичного зношування. На цій фазі подальша експлуатація роз'єму стає практично неможливою у зв'язку з настанням критичного стану контактів.

Критичний стан контактів настає в результаті відшарування поверхневих шарів покриття контактуючих поверхонь, що приводить до злипання металевих поверхонь, які контактують, і виривання окремих невеликих фрагментів нерівностей. Процес злипання й виривання фрагментів нерівностей відбувається в часі, як лавиноподібний, що приводить до різкого збільшення процесу зношування. У процесі зношування починають брати участь не тільки поверхневі шари покриття, але й основний метал, з якого виготовлені контакти. Додатково продукти зношування, що перебувають у зоні контактування, прискорюють процес руйнування контактних поверхонь. Кожній фазі зношування відповідає певна кількість зчленувань. Збільшення кількості зчленувань приводить до зменшення площі зіткнення контактів і відповідно до збільшення їх перехідного опору.

З метою встановлення кількості зчленувань роз'єму при календарній тривалості експлуатації ракети, що перевищує початково призначений термін служби, необхідно визначати початок настання фази критичного зношування контактних поверхонь роз'єму. Для оцінювання працездатного стану контактуючих поверхонь роз'єму в процесі проведення робіт з продовження необхідно здійснювати контроль величини їх перехідного опору.

Контроль величини перехідного опору зчленування роз'єму може здійснюватися непрямим або прямим методами.

При контролі прямим методом як показник працездатного стану пари контактів «штир-гніздо» роз'єму доцільно встановити перехідний опір контактних поверхонь $R_{нк}$. При цьому методі контролю перехідний опір вимірюється безпосередньо між контактуючими поверхнями, після чого проводиться порівняння вимірної величини з її допуском. Як критерій працездатного стану роз'єму в цілому доцільно встановити умову $R_{нк\sum u} \leq R_{нк\sum m}$, де $R_{нк\sum u}$ – вимірювана величина перехідного опору контактів роз'єму в цілому, $R_{нк\sum m}$ – величина перехідного опору, при якому забезпечується передача сигналів і команд, передбачених ЕД, з необхідною якістю.

При контролі непрямим методом вимірюються величини живильних напруг, електричних сигналів і команд, що проходять через контакти, після чого проводиться порівняння вимірюваних величин з їхніми допусками, а також контролюється повнота відпрацьовування команд і сигналів, встановлених ЕД.

ЕД на ЗКР 9М38М1 [2], [6] не передбачені роботи, спрямовані на підтримку працездатного стану роз'єму, а також не встановлені показники і критерії, що визначають його працездатний стан. У [2], [4] наведені допускові значення величини сили струму в колах передачі команд і сигналів, що проходять через контакти роз'єму. Наведені значення сили струму доцільно використовувати для непрямого методу контролю величини перехідного опору контактів роз'єму.

Як один з показників працездатного стану пар контактів «штир-гніздо» роз'єму при непрямому методі контролю доцільно встановити силу струму в колі передачі конкретної команди або сигналу відповідно до відомого закону Ома:

$$I_{нк} = \frac{U_{нк}}{R_e + R_{нк}},$$

де $I_{нк}$ – величина сили струму в колі передачі команд і сигналів, R_e – еквівалентний опір відповідного кола передачі команд і сигналів ЗКР, $R_{нк}$ – перехідний опір пари контактів «штир-гніздо», $U_{нк}$ – напруга в колі передачі команд і сигналів. Як критерій працездатного стану пар контактів доцільно встановити умову $I_{нко} \leq I_{нкн}$, де $I_{нко}$ – вимірювана величина сили струму в колі передачі команди або сигналу, $I_{нкн}$ – потрібна величина сили струму в колі передачі команд і сигналів, при якій забезпечується передача сигналів і команд, передбачених ЕД, з необхідною якістю.

Як інший показник працездатного стану роз'єму при непрямому методі контролю доцільно встановити

можливість передачі через його контакти команд і сигналів, передбачених ЕД, а критерієм працездатного стану роз'єму при цьому доцільно вибрати можливість проходження всіх команд і сигналів. Для контролю непрямым методом доцільним є розробка пристрою для контролю працездатного стану роз'єму.

Пристрій для контролю працездатного стану роз'єму може бути розроблений на базі імітатора борту 9В175М1, що входить до складу машини технічного обслуговування 9В881 [4]. Імітатор борту 9В175М1 стикується із ЗКР 9М38М1 через роз'єм і призначений для перевірки кіл керування ракет СВУ або ПЗУ в усіх режимах її роботи: «Очікування», «Підготовка», «Пуск». При проведенні перевірок за допомогою імітатора борту для передачі сигналів і команд задіюються всі необхідні контакти роз'єму. Кола керування ЗКР 9М38М1 і апаратури стартової автоматики СВУ або ПЗУ вважаються працездатними, якщо сигнали і команди, що спостерігаються на табло 9В175М1 і СВУ, або ПЗУ, за обсягом і часовою послідовністю проходження відповідають циклограмі роботи ЗКР 9М38М1 у всіх режимах, передбачених ЕД. Розробку пристрою для контролю працездатного стану роз'єму на базі імітатора 9В175М1 доцільно проводити з метою забезпечення проведення випробувань вилки роз'єму, розміщеної на ЗКР 9М38М1. Такий пристрій повинний забезпечувати можливість:

підключення вилки роз'єму, знятої з борту ЗКР 9М38М1, до штатного штирового роз'єму виробу 9В175М1;

виміру величини сили струму, що проходить через контакти, при непрямому методі контролю перехідного опору контактів роз'єму;

контролю проходження команд і сигналів на імітатор борту ракети та в зворотному напрямку у режимах функціонування ЗКР, передбачених ЕД.

Контроль працездатного стану роз'єму доцільно проводити після кожного зчленування роз'єму у два етапи. На першому етапі здійснюється контроль сигналізації проходження команд і сигналів. При цьому роз'єм вважається працездатним, якщо забезпечується передача всіх команд і сигналів, передбачених ЕД. На другому етапі здійснюється вимір величини сили струму в колі передачі команд і сигналів. Якщо $R_{нк}$ лежить у межах допуску, то вилка роз'єму вважається працездатною, і навпаки, якщо $R_{нк}$ лежить поза межами допуску, тобто відбулася відмова зчленування, то вилка роз'єму вважається непрацездатною. Під відмовою зчленування роз'єму розуміється вихід величини перехідного опору хоча б однієї пари контактів «штир-гніздо» за межі допуску.

Слід зазначити, що розетка роз'єму, розташована на СВУ або ПЗУ, є заміною та контрольованою його частиною [4], тому відмова контакту «штир-гніздо» і вилки роз'єму в цілому фіксується за умови працездатного стану розетки роз'єму.

Вірогідність результатів контролю працездатного стану вилки роз'єму та роз'єму в цілому за допомогою пристрою, розробленого на базі імітатора борту 9В175М1, доцільно оцінювати статистичним методом. При контролі працездатного стану роз'єму можуть

виникати помилки контролю 1 і 2 роду [7]. Оцінювати вірогідність результатів контролю працездатного стану роз'єму доцільно за співвідношенням

$$D_k = 1 - [P_{nc} \alpha_k + (1 - P_{nc}) \beta_k],$$

де P_{nc} – імовірність знаходження роз'єму в працездатному стані перед початком і в процесі контролю працездатного стану; α_k – імовірність того, що працездатний роз'єм в результаті контролю визнається непрацездатним – імовірність помилки 1 роду; β_k – імовірність того, що непрацездатний роз'єм в результаті контролю визнається працездатним – імовірність помилки 2 роду.

Імовірності α_k і β_k доцільно оцінювати статистичним методом, при цьому потрібна вірогідність контролю працездатного стану роз'єму при проведенні випробувань повинна становити не нижче 0,99.

Висновки. За результатами досліджень можна надати такі методичні рекомендації:

при проведенні робіт з продовження призначених показників ЗКР необхідно передбачати роботи, пов'язані з контролем працездатного стану електричних відривних роз'ємів ЗКР;

при контролі працездатного стану електричних відривних роз'ємів ЗКР прямим методом як показник працездатного стану роз'єму доцільно встановити перехідний опір контактів «штир-гніздо». Як критерій працездатного стану відривних роз'ємів ЗКР доцільно встановити величину перехідного опору всіх пар контактів роз'єму;

при контролі працездатного стану відривних роз'ємів ЗКР непрямым методом як показник працездатного стану роз'єму доцільно встановити:

а) силу струму в колі передачі конкретної команди або сигналу. Величину сили струму в колі доцільно вибрати як критерій працездатного стану роз'єму;

б) можливість передачі через контакти відривного роз'єму команд і сигналів, передбачених ЕД. Як критерій працездатного стану роз'єму доцільно встановити можливість проходження всіх команд і сигналів.

Для непрямого методу контролю працездатного стану роз'єму ШО ЗКР 9М38М1 доцільно розробити при-

стрій на базі імітатора борту 9В175М1, який повинен забезпечувати:

вірогідність результатів контролю працездатного стану не нижче 0,99;

тривалість одного циклу контролю з урахуванням стикування й розстикування роз'єму до 5 хвилин;

вартість контролю працездатного стану одного роз'єму менше 1% вартості перевірки ракети за допомогою автоматизованої контрольної випробувальної пересувної станції 9В95.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Измайлов, В. В. Автоматизированная система прогнозирования остаточных ресурсов электроконтактных соединений [Текст] / В. В. Измайлов, А. Е. Наумов // Программные продукты и системы. – 2008. – № 2. – С. 73–75.
2. Ракета 9М38М1 [Текст] : техн. описание. 9М38М1.0000.000 ТО. – 73 с.
3. Войсковой зенитный ракетный комплекс «Бук». Ч. 2. Технические средства [Текст]. – М. : Воениздат, 1990. – 255 с.
4. Автоматизированная контрольно-испытательная подвижная станция 9В95 [Текст] : инструкция по эксплуатации. – 104 с.
5. Сафонов, А. Электрические прямоугольные соединители. Анализ физических процессов в контактах [Текст] / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 6. – С. 25–34.
6. Эксплуатация ракеты на арсеналах, ЗРТБ и в ЗРЧ [Текст]. 9М38М1.0000.000 ИЭ. – 32с.
7. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст] : инструкция по эксплуатации. – 10 с.

Рецензент О. Б. Волонцевич, д-р техн. наук, проф. (Науковий центр Повітряних Сил Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків)