

Способ непосредственного контроля годности сборного протяжённого цилиндрического корпуса реактивного снаряда

А. С. ЯМНИКОВ¹, О. А. ЯМНИКОВА², И. А. МАТВЕЕВ², Е. Н. РОДИОНОВА²

¹Тульский государственный университет, Тула, Россия, e-mail: Yamnikovas@mail.ru

²Научно-производственное объединение «СПЛАВ», Тула, Россия, e-mail: yamnikovaoa@mail.ru, ivan_matveev@list.ru, masik-ele@yandex.ru

Предложен способ контроля годности сборного протяжённого цилиндрического корпуса реактивного снаряда. Способ основан на непосредственном измерении размера вхождения в процессе установки снаряда крайними центрирующими утолщениями в роликовые призмы, при этом линия действия измерительного устройства перпендикулярна граням призм. Выполнено сравнение предложенного способа контроля с традиционным, в котором измеряется радиальное биение среднего центрирующего утолщения также при установке снаряда крайними центрирующими утолщениями в роликовые призмы. Установлено, что новый способ контроля более эффективен ввиду его большей объективности и меньшей трудоёмкости.

Ключевые слова: радиальное биение, входимость, сборные корпуса, прилегающий профиль.

The method for controlling the validity of assembled extended cylindrical shell of the rocket projectile is proposed. The method is based on the direct measurement of the entry size in the course of installation of the rocket projectile by means of outer bourrelets into the roller prisms; in this case, the working line of the measuring device is perpendicular to the prism planes/faces. Comparison of the proposed control method with the traditional one is performed, in which the radial runout of the middle centering thickening is measured also when the projectile is placed with extreme centering thickenings into the roller prisms. It is established that the new method of control is more effective because of its greater objectivity and less laboriousness.

Key words: radial runout, entry, assembled bodies, contiguous profile.

Для нормального функционирования реактивных систем залпового огня [1, 2] необходимо обеспечить входимость (собираемость [3, 4]) снаряда в трубу пусковой установки. Свободная входимость определяется зазором между прилегающими цилиндрами снаряда и трубы пусковой установки. В качестве обобщённых охватываемых и охватывающих границ реальных элементов согласно стандарту [4] принимают прилегающие поверхности и профили элементов, от которых отсчитывают отклонения формы поверхностей по направлению в тело детали. В связи с этим условие вхождения простых геометрических тел значительной протяжённости (с отношением длины к диаметру $L/D > 10$) с отклонениями геометрической формы в виде изгибов δ продольной оси, показанное на рис. 1, имеет вид

$$z_{\min} = D_{\text{ц}} - d_{\text{ц}} > 0, \quad (1)$$

где $z_{\min}$ – минимально допустимый зазор между прилегающими поверхностями сопрягаемых деталей; $D_{\text{ц}}$, $d_{\text{ц}}$ – соответственно диаметры охватывающего и охватываемого цилиндров по прилегающим контурам реальных тел (диаметры прилегающих цилиндров отверстий и валов).

С учётом описанных в стандарте параметров [4] условие (1) запишем

$$z_{\min} = (D_{\text{тр min}} - \delta_{\text{тр}}) - (0,5d_3 + 0,25(d_1 + d_2) + e) > 0, \quad (2)$$

где $D_{\text{тр min}}$ – минимальный в пределах допуска диаметр пусковой трубы; $\delta_{\text{тр}}$ – допуск на кривизну трубы; d_1 , d_2 , d_3 – соответственно крайние и средний диаметры центрирующих утолщений (ЦУ); e – эксцентриситет среднего ЦУ относительно общей оси крайних ЦУ.

На практике прилегающие цилиндры внутренних поверхностей реальных труб и наружных поверхностей протяжённых

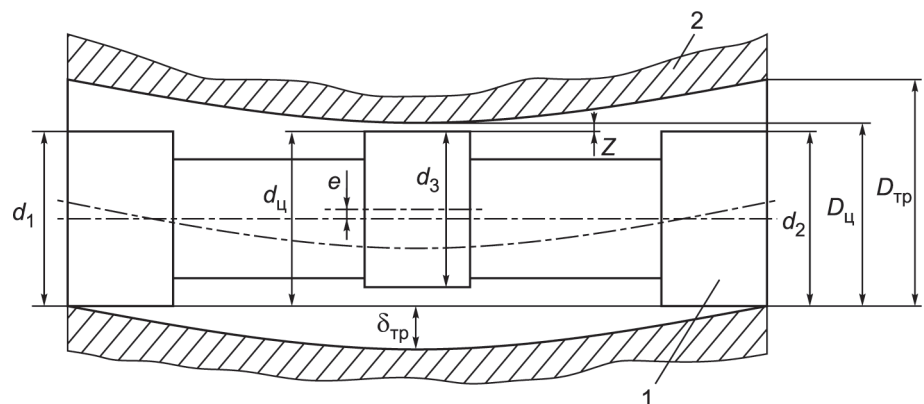


Рис. 1. Схема вхождения сборного корпуса снаряда в ствол пусковой установки:
1 – корпус; 2 – установка

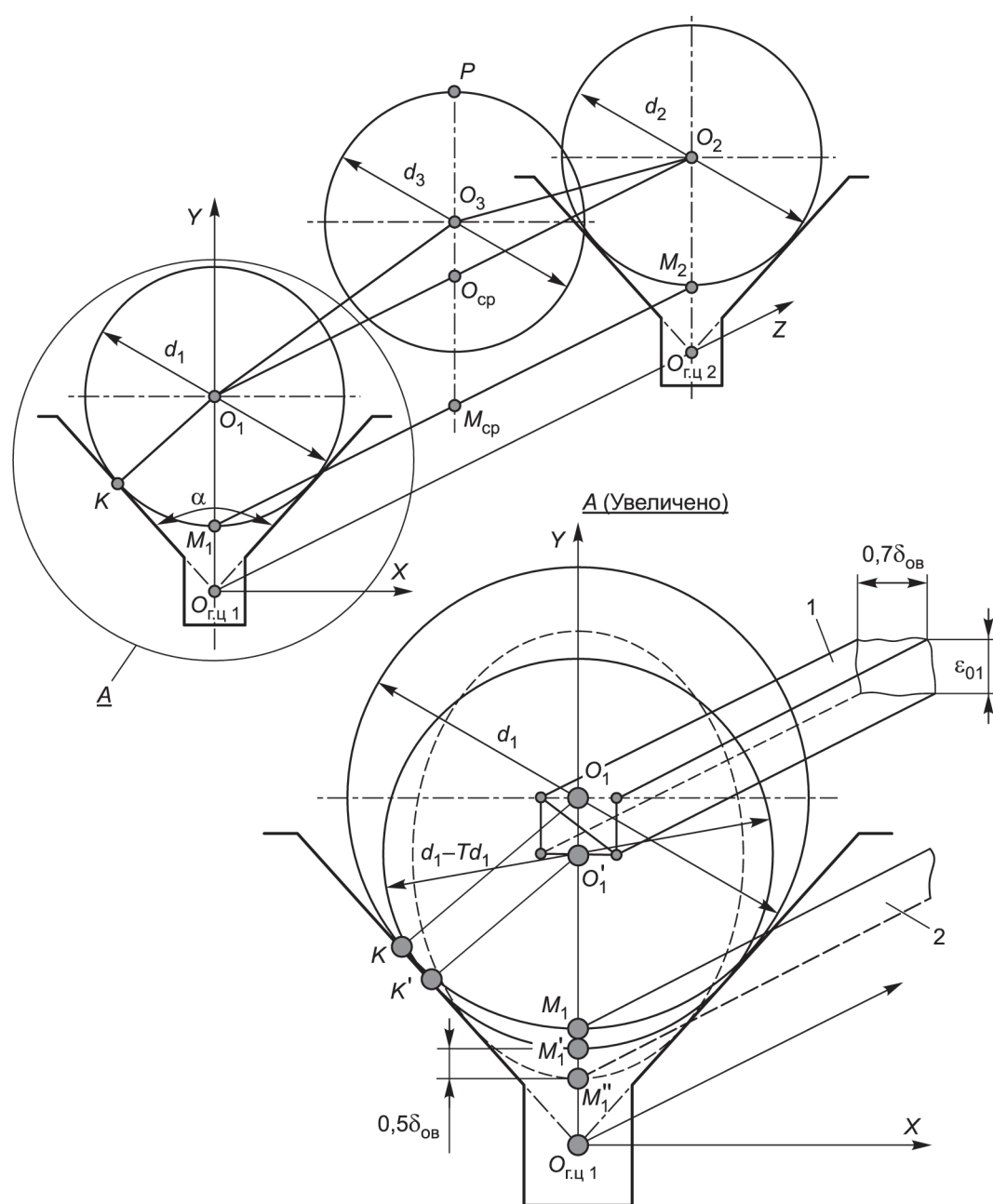


Рис. 2. Пространственная схема относительного положения элементов сборного корпуса реактивного снаряда при контроле радиального биения в призмах:
1, 2 – геометрические места точек возможных положений общей оси корпуса снаряда и нижней образующей прилегающего контура соответственно

изделий, собираемых из блоков, называют цилиндрами нулевой кривизны диаметрами $D_{ц}$, $d_{ц}$. Идеальной можно считать схему проверки входимости снаряда в пусковую трубу с использованием эталонной трубы с нулевой кривизной, соответствующей максимально допустимому диаметру $d_{ц\max}$ цилиндра нулевой кривизны снаряда [4]. Однако для корпусов штатных снарядов реактивных систем залпового огня это классическое правило оказывается неприменимым вследствие большой длины сопрягаемых снаряда и ствола пусковой установки и погрешностей формы. Так, диаметр пусковой трубы $D_{тр\min}=122,4$ мм, а допуск на кривизну трубы

$\delta_{тр}=0,5$ мм, следовательно, максимально допустимый для снаряда диаметр цилиндра нулевой кривизны составит $D_{ц\max}=121,9$ мм. При этом максимальные диаметры крайних ЦУ, при которых снаряд не войдет в контрольную трубу ЦУ, $d_1=d_2=122_{-0,26}$ мм. Возникшее противоречие можно устранить уменьшением до значения $d_3=121,6_{-0,26}$ мм диаметра среднего ЦУ, контактирующего с местом наибольшего прогиба ствола. Но в этом случае необходимо рассматривать не гладкий прилегающий цилиндр, а ступенчатый прилегающий профиль и вместо диаметра цилиндра нулевой кривизны для корпуса снаряда использовать размер ступенчатого прилегающего профиля B_z (размер вхождения). Данный параметр можно получить после преобразования выражения (2):

$$B_z = (0,5d_3 + 0,25(d_1 + d_2) + e) < d_{ц\max}. \quad (3)$$

При соблюдении условия (3) с учётом малой вероятности достижения максимальных значений диаметров трёх ЦУ обеспечивается гарантированное вхождение снаряда в трубу пусковой установки. Практика показывает, что обеспечить идеальное совпадение осей трёх ЦУ невозможно, поэтому принимая общую ось крайних ЦУ1 и ЦУ2 за ось изделия, контролируют радиальное биение среднего ЦУ3, устанавливая

собранное изделие крайними ЦУ в роликовые призмы с номинальным углом 90° контакта с ЦУ. На рис. 2 показана упрощённая пространственная схема относительного положения элементов сборного корпуса снаряда при контроле радиального биения в призмах в предположении, что диаметры всех ЦУ соответствуют номиналам, отсутствуют погрешности формы ЦУ (обычно это овальность) и имеется некоторое смещение центра ЦУ3 относительно общей оси изделия, проходящей через центры крайних ЦУ1 и ЦУ2 на значение эксцентриситета $e=O_{cp}O_3$, при этом $2e=2O_{cp}O_3$ – подлежащее контролю радиальное биение среднего ЦУ3.

На рис. 2 введены следующие обозначения: $O_{г.ц1}, O_{г.ц2}$ – геометрические центры первой и второй призм, базирующих сборный корпус снаряда при контроле радиального биения; O_1, O_2, O_{cp} – центры соответственно ЦУ1, ЦУ2 и ЦУ3 при отсутствии смещения (биения) центра среднего ЦУ3; O_3 – центр ЦУ3, смещённый относительно общей оси корпуса O_1O_2 на значение эксцентриситета e ; O_{cp} – номинальное положение центра среднего ЦУ3 на общей оси корпуса O_1O_2 ; M_1M_2 – нижняя образующая прилегающего профиля; P – точка поверхности среднего ЦУ3, наиболее удалённая от нижней образующей прилегающего профиля; XYZ – неподвижная система координат контрольного приспособления, ось Z проходит через геометрические центры призм, координатная плоскость YOZ совпадает с плоскостью симметрии призм; 1 – прямоугольный параллелепипед, внутри которого потенциально может размещаться общая ось O_1O_2 крайних ЦУ; 2 – прямоугольник, внутри которого потенциально может размещаться нижняя образующая $M_1''M_2''$ прилегающего профиля.

Для обоснования допустимости косвенной схемы контроля входимости необходимо рассмотреть размерные цепи, связывающие размер вхождения $B_z = PM_{cp}$ ступенчатого прилегающего профиля с геометрическими параметрами снаряда. С этой целью применим метод полной взаимозаменяемости и учтём потенциальные погрешности формы ЦУ3. Отрезок $O_{cp}M_{cp}$ будет равен полусумме радиусов крайних ЦУ1, ЦУ2: $O_{cp}M_{cp} = 0,25(d_1 + d_2)$. Для нахождения $B_z = PM_{cp}$ следует также учесть радиус $0,5d_3$ и эксцентриситет среднего ЦУ3, а также половину допуска погрешности формы ЦУ3 (погрешности овальности) $0,5 \delta_{ов}$. В итоге получим

$$B_z = (0,5d_3 + 0,25(d_1 + d_2) + e) + 0,5\delta_{ов}. \quad (4)$$

Стандартный угол поверочных призм ($\alpha = 90^\circ$) исключает влияние овальности (эллипсности) поперечного сечения базовой цилиндрической поверхности на точность измерения радиального биения в плоскости симметрии призм [5]. Поэтому показанная на рис. 2 схема контроля будет учитывать овальность сечения только среднего ЦУ3 (но не крайних ЦУ). В то же время вдоль оси X , перпендикулярной плоскости симметрии призм, центр сечения перемещается на значение, равное 70 % исходной овальности $\delta_{ов}$. Аналогично, центры всех ЦУ могут смещаться в плоскости, параллельной координатной плоскости XOZ в направлении оси X на значение $\pm(0,5 \cdot 0,7\delta_{ов})$.

Значения колебаний геометрических центров сечений ЦУ1, ЦУ2 в плоскости симметрии призм, полученные из решения прямоугольного треугольника $O_1KO_{г.ц1}$ будут определяться зависимостью $\varepsilon_{O_1} = T_d / (2\sin 0,5\alpha)$, где T_d – допуск на погрешности диаметров ЦУ1 и ЦУ2, с учётом угла выреза призм $\alpha = 90^\circ$ получим $\varepsilon_{O_1} = 0,707T_d$ [6]. Таким образом, геометрическое место точек возможного положения общей оси корпуса снаряда O_1O_2 , являющейся измерительной базой для проверки радиального биения среднего ЦУ3, при базировании в призмах будет представлять прямоугольный параллелепипед 1 , симметричный относительно коорди-

натной плоскости YOZ и смещённый ниже номинального положения общей оси O_1O_2 на значение ε_{O_1} (см. рис. 2). При изменении диаметра ЦУ относительно номинального

на значение $\varepsilon_{M_1M_2} = 0,5T_d [(\sin 0,5\alpha)^{-1} - 1] = 0,207T_d$ изменяется

и положение линии M_1M_2 [6]. Таким образом, геометрическое место точек возможного положения нижней образующей прилегающего контура $M_1M_2 - M_1''M_2''$ является прямоугольником 2 длиной M_1M_2 и шириной $\varepsilon_{M_1M_2} = 0,207T_d$.

Из анализа рис. 1, 2 можно отметить, что наибольшее значение размера B_z ступенчатого прилегающего профиля сборного корпуса снаряда будет при максимальных (в пределах допуска) диаметрах всех ЦУ, а также при некотором смещении центра среднего ЦУ3 относительно общей оси сборного корпуса O_1O_2 . Дополнительно увеличить значение B_z можно, если учесть влияние овальности среднего ЦУ3, поскольку при назначении допусков погрешности формы сборных корпусов [1, 2, 7, 8] допуск формы сопоставим с допуском размера [9]. В отличие от сборных деталей, погрешность формы общих изделий машиностроения не должна превышать примерно 30, 20 и 12 % допуска размера, так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса, допуск размера – отклонение диаметра поверхности [4], а само поле допуска располагается симметрично относительно номинального геометрического элемента [3].

С учётом вероятностного характера колебаний указанных составляющих размера ступенчатого прилегающего контура B_z сборного корпуса снаряда составим уравнение для случайных величин [10]:

$$\lambda_{d_3}^2 B_z^2 = [0,25\lambda_3^2 d_3^2 + 0,0625(\lambda_1^2 d_{1cp}^2 + \lambda_2^2 d_{2cp}^2) + \lambda_{d_3}^2 0,207^2 T_d^2 + \lambda_e^2 e^2] + 0,25\lambda_{ов3}^2 \xi_{ов3}^2 \delta_{ов3}^2, \quad (5)$$

где λ_i, ξ_i – соответственно относительные средние квадратические отклонение и передаточные отношения i -го звена размерной цепи.

В уравнении (5) передаточные отношения всех звеньев равны единице, кроме овальности среднего звена $\xi_{ов3} = \cos \varphi$, где φ – угол наклона большого диаметра эллипса относительно оси Y , вдоль которой измеряется размер вхождения B_z .

Размеры $D_{ц}, B_z$ являются расчётными параметрами, которые определяют условия входимости протяжённых тел, поэтому необходимо учитывать влияние погрешностей их формы и размеров, перекосов и смещений отдельных блоков корпуса снаряда, а также фазовые углы между векторными погрешностями.

Способ контроля годности корпуса по радиальному биению имеет следующие недостатки:

занижение допустимого биения из-за большой вероятности того, что диаметры трёх ЦУ одновременно примут максимальное значение;

неучёт отклонения от круглости (овальности) ЦУ при допуске овальности больше допуска диаметра. Таким образом, зависимый по сути допуск биения $T_{е\Sigma}$ переходит в разряд независимых, что, как показывает прак-

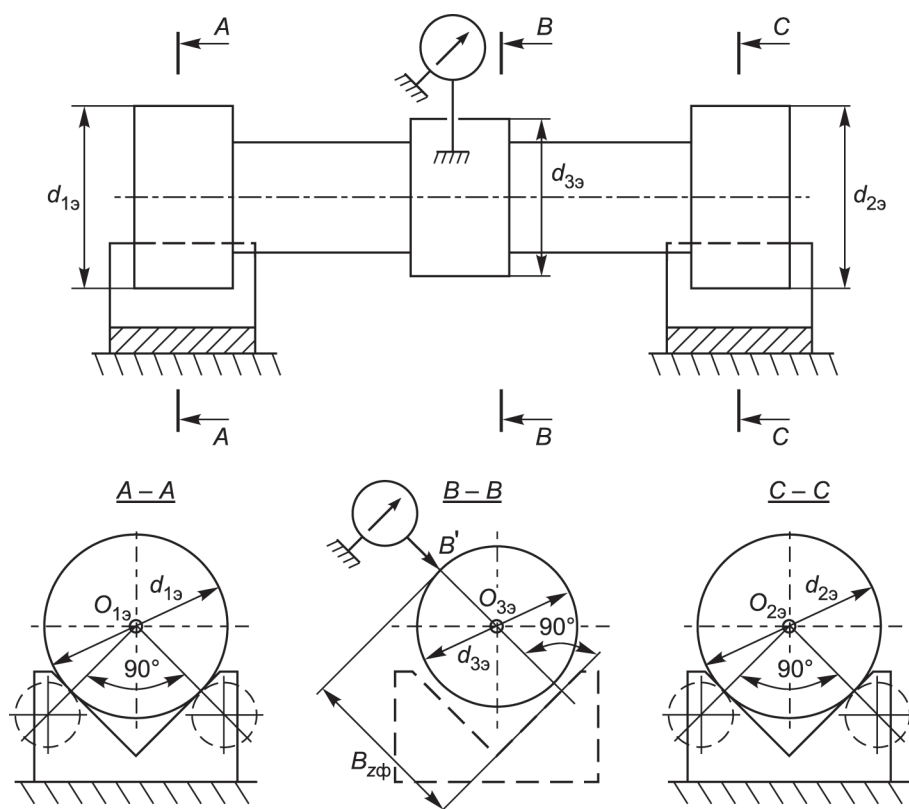


Рис. 3. Схема контроля размера вхождения $B_{z\phi}$ прилегающего профиля корпуса: А-А, С-С – сечения мест установки корпуса крайними центрирующими утолщениями в поперечные призмы; В-В – сечение по среднему центрирующему утолщению, определяющему вхождение прилегающего профиля

тика, приводит к необоснованному ужесточению допусков и повышает вероятность ложной браковки годных корпусов [3–5].

Повысить достоверность способа контроля можно, если измерительное устройство, например индикатор часового типа, установить в плоскости, перпендикулярной к одной из граней призмы (рис. 3), причём измерительное устройство откалибровать по эталону путём касания наконечником устройства среднего ЦУ эталона. При повороте корпуса в призмах контролёр должен отслеживать только одно показание датчика – контролируемый размер, который должен находиться в пределах допуска (минимальная нагрузка для контролёра). В этом случае измеряется фактическое значение входимости $B_{z\phi}$ прилегающего профиля корпуса:

$$B_{z\phi} = 0,25(d_1 + d_2 + \Delta_{ов1} \cos \varphi_1 + \Delta_{ов2} \cos \varphi_2) + \\ + 0,5(d_3 + \Delta_{ов3} \cos \varphi_3) + e_{\Sigma},$$

где $\Delta_{ов1,2,3}$ – овалности ЦУ1, ЦУ2, ЦУ3; $\varphi_{1,2,3}$ – фазы углов максимальных диаметров овальных сечений ЦУ относительно фазы максимального радиального биения ЦУ3.

Если измеренное значение размера вхождения прилегающего профиля корпуса будет отвечать уравнению (1), т. е.

$$B_{z\phi} \leq D_{ц} - z_{\min},$$

то корпус признается годным.

Предложенный способ контроля годности сравнили с действующим на производстве способом контроля входимости по радиальному биению корпуса по точности (объективности контроля) и производительности. Для этого изготовили образец, повторяющий номинальную конфигурацию корпуса, с размерами $d_{1з} = 121,995$ мм; $d_{2з} = 121,998$ мм; $d_{3з} = 121,760$ мм. Утолщения образца отшлифовали за одну установку при базировании по центровым отверстиям на круглошлифовальном станке. Для этого образца получили размер $B_{zз} = 121,903$ мм при допуске $B_{здоп} = 121,9$ мм.

Экспериментально исследовали 100 корпусов (две выборки по 50 шт.). Измеряли следующие параметры: радиальное биение e и размер вхождения $B_{z\phi}$, затем контролировали входимость изделия в трубу двумя способами. Из первой выборки неверно забраковали по биению восемь корпусов (их можно было не перебирать, так как $B_{z\phi} < 121,9$ мм, $z_{\min} > 0$, т. е.

их входимость гарантирована). Из второй выборки неверно признаны годными девять корпусов ($B_{z\phi} > 121,9$ мм, $z_{\min} < 0$ и не гарантируется их входимость в пусковую трубу). Таким образом, способ контроля по радиальному биению не может гарантировать входимость изделия. Время контроля изделия предложенным способом примерно в 2,5 раза меньше, чем действующим способом, поскольку контролёру не надо делать несколько оборотов изделия в призмах и вычислять максимальную разницу показаний индикатора, а достаточно одного оборота изделия, при котором определяется, пересекает ли стрелка индикатора настроенную линию.

Заключение. Действующий способ косвенной проверки параметра вхождения сборного корпуса реактивного снаряда в пусковую трубу по измеренному значению радиального биения среднего ЦУ корпуса снаряда допустим при стабильном качестве соединяемых деталей и запасе точности по взаимному положению сопрягаемых поверхностей. При существенных погрешностях этих параметров контроль этим способом может привести к ложному бракованию годных сборок или пропуску негодных. Предложенный способ непосредственного контроля размера вхождения прилегающего профиля сборного корпуса реактивного снаряда в пусковую трубу устраняет указанные недостатки и позволяет повысить производительность контроля в 2,5 раза.

Л и т е р а т у р а

1. **Гуров С. В.** Реактивная система залпового огня 9К58 «Смерч» // Реактивные системы залпового огня. Обзор. Изд. 2-е, электронное, периодическое испр. и доп. Тула: ФГУП ГНПП «Сплав», 2010.
2. **Редько А. А., Полторыхин С. А., Кудрявцев С. А., Косарев И. Л.** Влияние технологических отклонений при изготовлении РС РСЗО на их рассеивание при стрельбе // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2008. № 1. С. 32–35.
3. **ГОСТ Р 53442–2015** (ИСО 1101:2012). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
4. **ГОСТ 24642–81.** Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения.
5. **Ямникова О. А., Ямников А. С., Матвеев И. А.** Влияние овальности базовых поверхностей тонкостенных протяжённых осесимметричных полых деталей на погрешности измерения радиального биения в призмах // Измерительная техника. 2018. № 3. С. 32–36.
6. **Основы технологии машиностроения:** учебник для вузов / Под ред. А. С. Ямникова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006.
7. **Трегубов В. И., Ямников А. С., Матвеев И. А.** Технологическое обеспечение заданных конструктивных параметров деталей двигателя РСЗО «ТОРНАДО-Г» // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 4 (99). С. 94–98.
8. **Ямников А. С., Ямникова О. А., Матвеев И. А., Родионова Е. Н.** Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 7 (60). С. 13–17.
9. **Ямников А. С., Матвеев И. А.** Статистический анализ точности механической обработки протяжённых деталей из штампованной заготовки типа «стакан» // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 9. Ч. 2. С. 121–126.
10. **РД 50-635–87.** Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.

Дата принятия: 21.05.2018.