

Научно-методическое обоснование точности параметров конструкции ракетного оружия

© В.Д. Баскаков, В.А. Тарасов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрена четырехуровневая схема применения методов и принципов обоснования рациональной точности параметров конструкции ракетного оружия и выбора технологических средств ее обеспечения, предназначенная для реализации на основных этапах технической подготовки производства.

Ключевые слова: *ракетное оружие, рациональная точность конструкции, технико-экономические показатели, принцип пропорциональности рациональных допусков, универсальный комплекс технологических операций.*

Эффективность действия ракетного оружия (РО) зависит от большого числа факторов, характеризующих совершенство не только его конструкции, но и технологии изготовления. Например, технологические погрешности, определяющие взаимное расположение узлов и деталей неуправляемой ракеты, негативно влияют на положение центра масс, прямолинейность оси, плавность наружных обводов и приводят к ухудшению ее аэродинамических характеристик, что в итоге снижает точность попадания ракеты в цель. Могущество боевых частей ракет также подвержено негативному влиянию технологических погрешностей. Особенно чувствительно к погрешностям формы, взаимного расположения поверхностей узлов и деталей, к нестабильности свойств и материалов пробивное действие кумулятивных зарядов боевых частей РО.

Несмотря на высокую значимость технологического резерва повышения эффективности действия РО, реализовать его на практике весьма непросто. Вызвано это следующими основными причинами.

На показатели эффективности действия РО влияет с разным уровнем интенсивности большое число технологических погрешностей. В связи с этим один и тот же уровень эффективности действия РО может достигаться различным сочетанием допустимых значений технологических погрешностей. В то же время каждая комбинация допусков на технологические погрешности может быть в общем случае реализована в процессе производства различными техническими средствами. Многообразие возможных комбинаций конструкторских и технологических решений (соответственно назначение допусков на параметры конструкции РО и выбор технологических средств обеспечения точ-

ности) вызывает серьезные затруднения при определении однозначного решения, наиболее рационального с точки зрения как эффективности действия, так и технико-экономических показателей производства. При этом следует отметить, что точность конструкции в большинстве случаев становится объектом внимания разработчиков нового РО только на стадии создания рабочей конструкторской документации, хотя затраты на проектирование оружия, в том числе и на обеспечение его точности, определяются на более ранних стадиях маркетинговых исследований и разработки тактико-технического задания (ТТЗ).

В связи с этим можно говорить о необходимости разработки комплексной системы правил, дополняющих принятый в отрасли порядок разработки РО и направленных на обеспечение его рациональной точности, начиная с самых ранних стадий создания. Следует также отметить, что проблема обеспечения рациональной точности конструкции актуальна не только для РО, но для многих видов машиностроительной продукции.

Настоящая работа обобщает исследования, выполненные под руководством авторов в области обоснования требований к точности параметров конструкций боевых частей РО [1–6]. Для назначения рациональной точности конструкции РО и выбора технологических средства ее реализации предлагается последовательно применять четыре взаимосвязанных метода и четыре принципа (рис. 1). Их реализация требует универсального и специального информационно-математического обеспечения. Необходимо также тесное организационное взаимодействие и обмен информацией между заказчиком, разработчиками и изготовителями РО.

Рассмотрим предлагаемый порядок применения системы методов и принципов. На *первом уровне* ее реализации заказчик, используя метод прогнозирования затрат денежных ($j = 1$) и временных ($j = 2$) ресурсов на обеспечение точности конструктивных параметров РО при проведении маркетинговых исследований, может определить эти ресурсы \bar{F}_{0j}^* , сформировать предварительное представление о показателях эффективности действия \bar{L}_{Pf}^* будущего РО (точность попадания в цель, могущество и др.; $f = 1, 2, \dots, F$ — индекс показателя эффективности действия; F — число показателей эффективности действия) и создать первое приближение $\bar{\Gamma}^i$ его точностного облика ($\bar{\Gamma}^i$ — предельные значения полей рассеяния погрешностей у параметров конструкции РО; $i = 1, 2, \dots, I$ — индекс параметра конструкции; I — число параметров конструкции). Здесь и далее черта над любым символом означает его безразмерное представление.

Принцип пропорциональности рациональных допусков на параметры конструкции формулируется следующим образом: у рационально точного РО поля рассеяния погрешностей $\bar{\Gamma}_R^i$ параметров конструкции

пропорциональны, а среднее значение коэффициента пропорциональности $(k)_\chi^\Sigma$, вычисляемое по формуле $(k)_\chi^\Sigma = \sum_{\mu=1}^I (k)_\chi^\mu / I$, равно 1.

При разработке данного принципа принималось, что $\bar{\Gamma}^i$ связаны с показателями эффективности действия \bar{L}_{Pf} РО линейными зависимостями $\bar{L}_{Pf} = 1 - \sum_{i=1}^I \bar{\delta}_f^i \bar{\Gamma}^i$, где $\bar{\delta}_f^i$ — коэффициент влияния погрешности i -го параметра конструкции на величину L_{Pf} f -го показателя эффективности, а с технико-экономическими показателями (ТЭП) \bar{F}_j — либо гиперболическими, либо логарифмическими упрощенными соотношениями следующего вида:

$$\bar{F}_j = \begin{cases} 1 + \sum_{i=1}^I \frac{\bar{F}_j^i}{(\bar{\Gamma}^i)^g} & \text{— гиперболическая аппроксимация ТЭП,} \\ 1 - \sum_{i=1}^I \bar{\Phi}_j^i \cdot \ln \bar{\Gamma}^i & \text{— логарифмическая аппроксимация ТЭП,} \end{cases}$$

где \bar{F}_j^i , g , $\bar{\Phi}_j^i$ — аппроксимирующие константы.

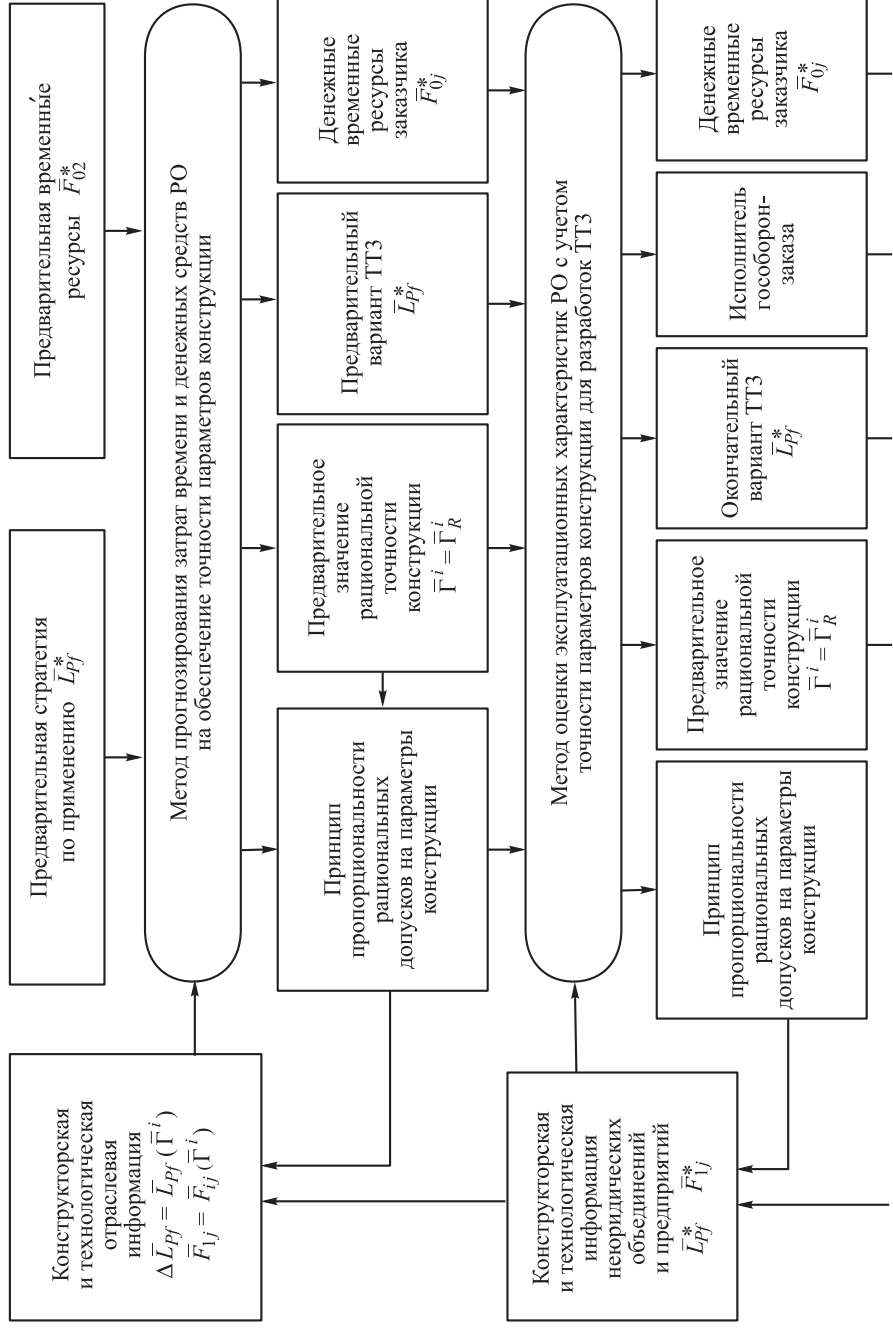
Под рациональной точностью $\bar{\Gamma}_R^i$ i -го параметра конструкции РО понимается значение $\bar{\Gamma}^i$, которое найдено при решении оптимизационных задач, лежащих в основе разработанных методов назначения требований к точности параметров конструкции РО и рассмотренных ниже.

Коэффициент пропорциональности $(k)_\chi^\mu$ определяется только видом функции аппроксимации зависимостей ТЭП от рациональной точности $\bar{\Gamma}_R^i$ конструктивных параметров РО:

$$(k)_\chi^\mu = \frac{\bar{\Gamma}_R^\mu}{\bar{\Gamma}_R^\chi} = \begin{cases} \left(\frac{\bar{F}_\Sigma^\mu \bar{\delta}_\Sigma^\chi}{\bar{F}_\Sigma^\chi / \bar{\delta}_\Sigma^\mu} \right)^{(g+1)^{-1}} & \text{— гиперболическая аппроксимация ТЭП,} \\ \frac{\bar{\Phi}_\Sigma^\mu \bar{\delta}_\Sigma^\chi}{\bar{\Phi}_\Sigma^\chi / \bar{\delta}_\Sigma^\mu} & \text{— логарифмическая аппроксимация ТЭП,} \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{\delta}_\Sigma^i = \sum_{f=1}^F \psi_f \cdot \bar{\delta}_f^i$; $\bar{F}_\Sigma^{\mu,\chi} = \xi \bar{F}_1^{\mu,\chi} + (1 - \xi) \bar{F}_2^{\mu,\chi}$; $\bar{\Phi}_\Sigma^{\mu,\chi} = \xi \bar{\Phi}_1^{\mu,\chi} + (1 - \xi) \bar{\Phi}_2^{\mu,\chi}$;

ψ_f — безразмерный коэффициент вклада f -го показателя эффективности в суммарный показатель эффективности $\bar{L}_{P\Sigma} = 1 - \sum_{i=1}^I \bar{\delta}_\Sigma^i \bar{\Gamma}^i$, обладающий



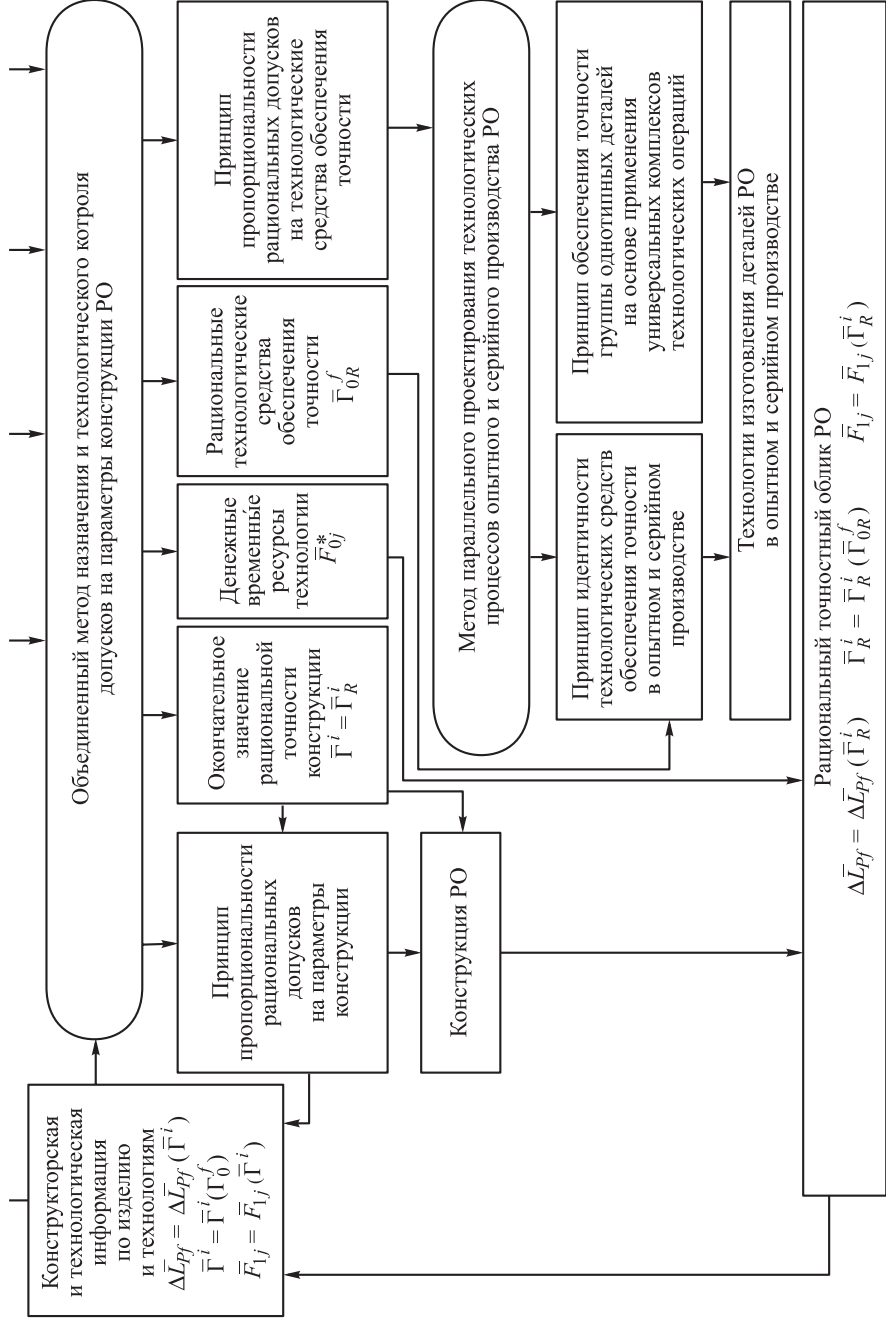


Рис. 1. Взаимосвязь методов и принципов обоснования и технологической реализации рациональной точности параметров конструкции РО

свойством $\sum_{f=1}^F \psi_f = 1$; ξ — коэффициент, принимающий значения $0 \leq \xi \leq 1$ и характеризующий вклад стоимостных и временных затрат в величины обобщенных параметров \bar{F}_{Σ}^i , $\bar{\Phi}_{\Sigma}^i$; $\mu, \chi = 1, 2, \dots, I$ — произвольно выбранные индексы параметров конструкции РО.

На этом этапе реализации методологии разработанный принцип пропорциональности рациональных допусков на конструктивные параметры РО позволяет проверить рациональность отраслевой информации о влиянии точности параметров конструкции РО на его эксплуатационные характеристики и ТЭП. Такая проверка необходима для коррекции технической политики отрасли.

При оценке $(k)_{\chi}^{\mu}$ по (1) коэффициенты $\bar{F}_j^{\mu, \chi}$ и $\bar{\Phi}_j^{\mu, \chi}$ в законах, определяющих изменение ТЭП, могут вычисляться не только в абсолютных, но и в условных единицах, например в баллах.

Для *второго уровня* реализации (см. рис. 1) предложен разработанный метод оценки эксплуатационных характеристик РО с учетом точности изготовления для формирования ТТЗ. При этом применяется конкретная техническая и технико-экономическая информация предприятий — разработчиков и серийных изготовителей, а также данные о ресурсах \bar{F}_{0j}^* и эксплуатационных характеристиках \bar{L}_{pf}^* , полученные на предыдущем уровне. Используя формализованные процедуры, заказчик принимает организационное решение, выбирая исполнителя гособоронзаказа (ГОЗ), окончательно уточняет значения \bar{L}_{pf}^* , формирует ТТЗ и получает второе приближение для уровня точности \bar{G}_R^i конструктивных параметров РО.

На втором уровне реализации принцип пропорциональности рациональных допусков на конструктивные параметры РО позволяет проверить рациональность информации претендентов на выполнение ГОЗ о влиянии точности параметров конструкции РО на эффективность действия и ТЭП. Подобная проверка необходима для корректировки технической политики предприятий — разработчиков и серийных изготовителей данного оружия.

Одним из самых трудоемких и сложных по совокупности действий, предпринимаемых участниками процесса создания РО, является *третий уровень*, на котором реализуется объединенный метод назначения и технологического контроля допусков на конструктивные параметры рассматриваемого оружия.

На этом уровне разработчик и изготовитель РО с учетом информации о создаваемом изделии и совокупности конкретных универсальных комплексов технологических операций (УКТО), ответственных за тех-

нологическую реализацию требований к точности параметров конструкции, осуществляют третье окончательное уточнение рациональных значений $\bar{\Gamma}_R^i$ полей рассеивания параметров конструкции. Кроме того, проводится выбор рациональных УКТО и соответствующих им рациональных значений начальных свойств $\bar{\Gamma}_{0Rn}^t$ технологического процесса. В данной статье УКТО — подмножество Y_m операций технологических процессов изготовления m -й детали РО в опытном и серийном производстве, обеспечивающее выполнение одного или нескольких точностных требований ее конструкторской документации:

$$Y_m \subseteq T_{Om} \cap T_{Cm},$$

где T_{Om} , T_{Cm} — множества операций технологических процессов изготовления m -й детали в условиях опытного и серийного производства соответственно.

Под $\bar{\Gamma}_{0Rn}^t$ понимаются рациональные значения начальных свойств заготовок, оборудования и технологического оснащения, используемых в n -м технологическом процессе и имеющих в основном точностную природу.

На третьем уровне реализации разработанный принцип пропорциональности для рациональных значений полей рассеивания начальных свойств в n -м технологическом процессе изготовления РО позволяет обосновать выбор варианта технологического процесса и его начальных свойств $\bar{\Gamma}_{0Rn}^t$. Данный принцип гласит, что у рационально точного РО поля рассеивания начальных свойств технологической системы пропорциональны, а среднее значение коэффициента пропорциональности

$(k)_{\eta n}^{\Sigma}$, вычисляемое по формуле $(k)_{\eta n}^{\Sigma} = \sum_{\lambda=1}^T \frac{(k)_{\eta n}^{\lambda}}{T}$, равно 1.

В приведенной формуле $(k)_{\eta n}^{\lambda} = \frac{\bar{\Gamma}_{0nR}^{\lambda}}{\bar{\Gamma}_{0nR}^{\eta}}$ — коэффициент пропорциональности, близкий по смыслу коэффициенту $(k)_{\chi}^{\mu}$ и определяемый по формуле, аналогичной по структуре зависимости (1), $\lambda, \eta = 1, 2, \dots, T$ — произвольно выбранные индексы начальных свойств в n -м технологическом процессе; T — число начальных свойств в n -м технологическом процессе.

На четвертом, заключительном, уровне на основе выбранных УКТО и условий их реализации применяется разработанный метод параллельного проектирования технологических процессов в опытном и серийном производстве. При этом разработчики технологий следуют сформулированным в работе принципу идентичности технологических средств обеспечения точности параметров конструкции РО в опытном

и серийном производстве и принципе обеспечения точности группы однотипных деталей на базе применения УКТО.

В соответствии с разработанной системой точность параметров конструкции РО начинает формироваться на предпроектных стадиях и дважды уточняется с учетом технических, технико-экономических и технологических возможностей заказчиков, разработчиков и серийных производителей.

В результате реализации системы методов и принципов формируется точностный облик РО, включающий рациональный уровень $\bar{\Gamma}_R^i$ погрешностей параметров конструкции разрабатываемого изделия, технологические процессы его изготовления в опытном и серийном производстве и рациональные значения начальных свойств $\bar{\Gamma}_{0Rn}^i$ технологических процессов.

Составляющие систему методы и принципы разработаны на базе непротиворечивых положений и допущений. Например, метод прогнозирования затрат денежных и временных ресурсов на обеспечение точности конструктивных параметров РО при проведении маркетинговых исследований основан на следующей оптимизационной задаче: «При заданных верхних ограничениях на временные затраты по обеспечению точности параметров конструкции РО и нижних ограничениях на их основные эксплуатационные характеристики определить уровень точности $\bar{\Gamma}^i = \bar{\Gamma}_R^i$ параметров конструкции, реализуемый с минимальными денежными затратами».

Оптимизационная задача предполагает наличие изделия-прототипа, близкого по конструкции к будущему РО, но отличающегося от него уровнем основных показателей эффективности действия.

Перед решением данной задачи заказчик РО формирует предварительный вариант стратегии использования будущего оружия, характеризуемый нижними ограничениями \bar{L}_{Pf}^* на вероятностные значения его эксплуатационных характеристик (рис. 2). Заказчиком задается также верхнее ограничение \bar{F}_{02}^* на затраты времени по обеспечению точности параметров конструкции РО, являющееся составной частью трудоемкости продукции. В качестве информационно-математического обеспечения задачи, необходимого заказчику РО, выступают зависимости, связывающие снижение $\Delta\bar{L}_{Pf}$ эксплуатационных характеристик, денежные и временные затраты \bar{F}_{1j} с точностью $\bar{\Gamma}^i$ параметров конструкции (блок «отраслевая информация»):

$$\Delta\bar{L}_{Pf} = \Delta\bar{L}_{Pf}(\bar{\Gamma}^i), \quad \bar{F}_{1j} = \bar{F}_{1j}(\bar{\Gamma}^i). \quad (2)$$

Эти зависимости могут характеризовать как средние показатели отрасли (в случае планируемого в дальнейшем заказчиком конкурса на

\bar{L}_{Pf}^* , \bar{F}_{02}^* . Этот ресурс задействуется в случае получения заказчиком при решении задачи неудовлетворительного значения $\bar{F}_{1\min}$ денежных затрат. При этом корректировка временных ограничений \bar{F}_{02}^* может привести к изменению сроков поставки разрабатываемого РО.

Нижние ограничения \bar{L}_{Pf}^* на эксплуатационные характеристики создаваемого боеприпаса могут быть скорректированы, что вызывается изменением стратегии применения будущего оружия. Например, для РО, оснащенных кумулятивной боевой частью, такая корректировка может выражаться в повышении требований к точности попадания в цель с одновременным снижением требований к пробивному действию или наоборот.

При неудовлетворительном для заказчика значении $\bar{F}_{1\min}$ возможно изменение отраслевой информации (2), которое должно состоять прежде всего в расширении круга предприятий — потенциальных разработчиков и производителей будущего РО. Возможен также вариант, при котором заказчик принудительно меняет отраслевую информацию, выставляя в дальнейшем назначенные им функциональные зависимости (2) в качестве технического задания предприятиям — разработчикам и изготовителям.

Остальные методы и принципы, входящие в состав рассмотренной системы (см. рис. 1), подробно изложены в работах [4–6].

Таким образом, в данной статье предложен научно-методический аппарат обоснования точности параметров конструкции РО, включающий алгоритм применения четырех взаимосвязанных методов и четырех принципов для выбора рациональных значений полей рассеяния погрешностей данного оружия и обоснования маршрутных технологических процессов его изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тарасов В.А., Баскаков В.Д., Круглов П.В. Методика проектирования технологии изготовления высокоточных деталей боеприпасов. *Оборонная техника*, 2000, № 1–2, с. 89–92.
- [2] Тарасов В.А., Баскаков В.Д. Методические основы совмещенного поиска конструкторских и технологических решений при разработке боеприпасов. *Известия РАН*, 2004, вып. 3(40), с. 33–37.
- [3] Баскаков В.Д. Методология совмещенного конструкторско-технологического проектирования прецизионных кумулятивных зарядов. *Оборонная техника*, 2005, № 4–5, с. 82–88.
- [4] Тарасов В.А., Зарубина О.В., Щедрин М.В., Баскаков В.Д. Алгоритмы принятия конструкторских и технологических решений по обеспечению рациональной точности боеприпасов. *Оборонная техника*, 2007, № 3–4, с. 60–67.
- [5] Тарасов В.А., Баскаков В.Д. Методология обоснования и технологического обеспечения рациональной точности боеприпасов на ранних стадиях технической подготовки производства. *Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы*, 2008, № 2, с. 97–103.

- [6] Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Васильева Т.В. Обоснование и технологическая реализация рациональной точности конструктивных параметров машин. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. Спец. выпуск № 3 «Прогрессивные материалы, конструкции и технологии ракетно-космического машиностроения»*, 2012, с. 35–43.

Статья поступила в редакцию 21.05.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

В.Д. Баскаков, В.А. Тарасов. Научно-методическое обоснование точности параметров конструкции ракетного оружия. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/637.html>

Баскаков Владимир Дмитриевич родился в 1954 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1977 г. Канд. техн. наук, доц. кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения». Автор более 70 печатных работ в области технологических средств обеспечения эксплуатационных характеристик машин и технологии машиностроения. e-mail: baskakov_vd@mail.ru

Тарасов Владимир Алексеевич родился в 1946 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1968 г. Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технологии ракетно-космического машиностроения». Автор более 200 печатных работ в области технологии машиностроения. e-mail: tarasov_va@mail.ru