

УДК 531.383.

© Олейников А.В., Гапон Р.Ю., Волков А.А., Карпов А.С.
Oleynikov A.V., Gapon R.Y., Volkov A.A., Karpov A.S.

МОДЕЛИ ОШИБОК СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РАКЕТ

MODELS OF STRATEGIC MISSILE CONTROL SYSTEM SENSITIVE ELEMENT AZIMUTHAL ALIGNMENT CONTROL MEANS ERRORS

Аннотация. Получены зависимости абсолютных значений ошибок определения азимутов контрольных направлений средствами контроля азимутальной выставки чувствительных элементов систем управления ракет стационарного базирования от параметров контрольных систем для всех рациональных схем их построения. В предположении нормальности распределения составляющих погрешностей получены также зависимости соответствующих средних квадратичных отклонений от параметров распределений отдельных составляющих. Разработанные модели ошибок предназначены для использования в качестве инструмента формирования численных значений показателей точности средств контроля азимутальной выставки при решении оптимизационных задач, связанных с определением технического облика перспективных контрольных систем и обоснованием требований к ним.

Annotation. The dependency of absolute values of control direction azimuth determination errors by means of control of stationary basing missile control system sensitive element azimuthal alignment from parameters of control systems for all rational schemes of their construction are obtained. The dependences of corresponding average square deviations from parameters of separate component distributions are obtained too assuming the normality of error component distribution. The developed models of errors are intended for use as the instrument of formation of numerical values of azimuthal alignment control means accuracy indexes in solution of optimization tasks associated with determination of technical shape of perspective control systems and with motivation of requirements to them.

Ключевые слова. Модель, ошибка, средство, контроль, азимутальная выставка, чувствительный элемент, система управления, стратегическая ракета.

Key words. Model, an error, means, the control, the azimuthal alignment, a sensitive element, control system, strategic missile.

Средства контроля азимутальной выставки (СКАВ) чувствительных элементов системы управления ракетами являются одними из основных технических средств, обеспечивающих экспериментальное подтверждение точностных характеристик ракет в процессе их испытаний, а также в процессе эксплуатации ракетных комплексов – при приведении изделий в готовность к применению. В задачах формирования технического облика перспективных СКАВ и обоснования требований к ним важ-

ное значение имеют корректные модели ошибок определения азимута, которые позволят оценить достижимые уровни точности СКАВ во всех рациональных схемах их построения.

Схемные решения построения СКАВ стационарных ракетных комплексов (СРК) условно можно разделить на два вида:

1) системы с контрольными средствами, постоянно размещаемыми в пусковой установке (ПУ) - предпола-

Олейников Александр Владимирович – доктор технических наук, начальник отдела 4 ЦНИИ Минобороны России; тел. (495)453-36-76;

Гапон Роман Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник 4 ЦНИИ Минобороны России, тел. (495)453-36-76;

Волков Александр Алексеевич – начальник отдела Управления начальника вооружения РВСН, тел. (495)453-36-76;

Карпов Анатолий Сергеевич – адъютант 4 ЦНИИ Минобороны России, тел. (495)453-36-76.

Oleynikov Alexander Vladimirovich – the doctor of technical sciences, the chief of division of the 4th CSRI DoD of Russia, tel. (495)453-36-76;

Gapon Roman Yurevich – the candidate of technical sciences, the senior research scientist of the 4th CSRI DoD of Russia, tel. (495)453-36-76;

Volkov Alexander Alexeevich – the chief of division of Department of the chief of armament of MTSP, tel. (495)453-36-76;

Karpov Anatoliy Sergeevich – the adjunct of the 4th CSRI DoD of Russia, tel. (495)453-36-76.

гается размещение прибора, автономно определяющего астрономический азимут, в специальном отсеке ПУ;

2) системы с контрольными средствами, размещаемыми в ПУ только на время работ по аттестации средств азимутальной выставки (прицеливания) – СПр – предполагается использование в ПУ для определения азимута контрольного направления (АКН) гиросприборов (ГП).

Контролируемыми точностными параметрами СПр могут быть: ошибка определения азимута базового направления (АБН), систематическая погрешность СПр, ошибка «передачи» АБН в бортовой комплекс командных приборов системы управления ракеты, азимутальная нестабильность хранителя АБН во времени и др.

Общая модель погрешностей аттестации СПр (контроля азимутальной выставки) $\delta_{СПр}$ может быть представлена следующим образом:

$$\delta_{СПр} = \delta_{СПр} + \delta_{КН} \quad (1)$$

где $\delta_{СПр}$ – осредненная погрешность СПр при проведении аттестации;

$\delta_{КН}$ – погрешность определения АКН с использованием СКАВ.

Модель погрешностей, представленная в выражении (1), является общей для всех рассмотренных выше схем построения СКАВ.

На основе анализа методов и средств определения АКН погрешность $\delta_{КН}$ может быть записана в следующем виде:

$$\delta_{КН} = \delta_{КС} + \delta_{НКН}, \quad (2)$$

где $\delta_{КС}$ – погрешность контрольной системы (погрешность определения АКН СКАВ);

$\delta_{НКН}$ – нестабильность АКН в период между его определением и временем проведения аттестации СПр.

В свою очередь $\delta_{КС}$ для СКАВ первого вида (см. выше) можно разделить на следующие составляющие:

$$\delta_{КС} = \delta_{сл} + \delta_{неустр\ сис\ т}, \quad (3)$$

где $\delta_{сл}$ – случайная погрешность СКАВ (определения АКН астрономическим прибором);

$\delta_{неустр\ сис\ т}$ – неустраняемая систематическая погрешность СКАВ, связанная с методами измерений и геофизическими свойствами среды.

Основываясь на проведенных ранее исследованиях отечественных и зарубежных ученых, можно констатировать, что неустраняемая систематическая погрешность (1δ) астрономического прибора может составлять величину порядка 0,15...0,30".

На основе проведенного анализа методов и средств определения АКН погрешность контрольной системы ($\delta_{КС}$) второго вида может быть представлена как:

$$\delta_{КС} = \delta_{ГП} + \delta_{НФП} + \delta_{ФП} \quad (4)$$

где $\delta_{ГП}$ – осредненная случайная погрешность определения АКН гиросприборами из состава СКАВ в ПУ;

$\delta_{НФП}$ – осредненная нестабильность систематических погрешностей комплекта ГП (в период между проведением аттестации комплекта ГП и временем определения АКН);

$\delta_{ФП}$ – средняя погрешность определения формулярных поправок комплекта гиросприборов при проведении аттестации.

Обобщенная математическая модель погрешности определения АКН (4) включает как инструментальные, так и методические погрешности его определения.

К чисто случайным относятся погрешности ГП, обусловленные ошибками алгоритмов обработки информации с учетом неточности задания параметров чувствительного элемента, случайные ошибки следящей системы гиросприбора, случайные составляющие погрешностей лимбов ГП и др.

Значительную группу составляют погрешности, обладающие в течение всей эксплуатации свойствами случайных, но в то же время, имеющие свойства систематических при неизменной температуре, горизонтировании, ориентировании корпуса ГП, постоянном влиянии внешнего магнитного поля.

Осредненная случайная погрешность определения АКН $\delta_{ГП}$ может быть представлена в следующем виде:

$$\delta_{ГП} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \delta_{сл\ ij}^{ГП}, \quad (5)$$

где $\delta_{сл\ ij}^{ГП}$ – случайная погрешность j -го единичного измерения азимута, выполненного i -м ГП при работе СКАВ в ПУ;

N – количество измерений, проведенных каждым i -м прибором;

M – количество ГП, используемых при определении АКН.

Осредненная нестабильность систематических погрешностей комплекта ГП СКАВ может быть представлена в следующем виде:

$$\delta_{НФП} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \delta_{НФП\ i}^{ГП}, \quad (6)$$

где $\delta_{НФП\ i}^{ГП}$ – нестабильность систематической погрешности i -го ГП из состава СКАВ.

Средняя погрешность определения формулярных поправок комплекта гиросприборов при проведении аттестации может быть представлена в следующем виде:

$$\delta_{ФП} = \delta_{ЭН} + \frac{1}{MK} \sum_{i=1}^M \sum_{h=1}^K \delta_{сл\ ih}^{ГП}, \quad (7)$$

где $\delta_{cl\ ih}^{ГП}$ – случайная погрешность измерения азимута эталонного направления (ЭН) i -м ГП в h -м единичном измерении при проведении его аттестации;

K – количество измерений проведенных каждым i -м прибором при аттестации;

$\delta_{ЭН}$ – погрешность определения азимута ЭН для проведения аттестации ГП.

Все составляющие погрешностей предполагаются независимыми и имеющими нормальное распределение.

Проведенный анализ составляющих показал, что модели погрешностей, представленные выражениями (6) и (7), а также составляющая, связанная с нестабильностью АКН в период между его определением и временем проведения аттестации СПр, являются общими для всех схем построения СКВАВ второго типа.

Из (2)...(7) могут быть получены общие выражения для средних квадратичных отклонений (СКО) ошибок определения АКН СКВАВ первого и второго вида

$$\sigma_{KH1} = \sqrt{\sigma_{cl1}^2 + \sigma_{сис1}^{неустп}^2 + \sigma_{HKH}^2}. \quad (8)$$

$$\sigma_{KH2...7} = \sqrt{\frac{1}{M} \left(\frac{1}{N} (\sigma_{cl(NP)}^{ГП})^2 + \sigma_{HФП}^{ГП}^2 + \frac{1}{K} (\sigma_{cl(ЭНГ)}^{ГП})^2 \right) + \sigma_{HKH}^2 + \sigma_{ЭН2...7}^2}. \quad (9)$$

Структура погрешности определения азимута ЭН для проведения аттестации ГП зависит от схемы построения СКВАВ.

Анализ актуальных вариантов построения СКВАВ второго вида позволил определить следующие рациональные схемы их построения:

1) использование для определения азимута и воспроизведения ЭН автоматического астрономического прибора, установленного на базе эталонирования гирокомпасов (БЭГ), – вариант 2;

2) использование для определения азимута и воспроизведения ЭН комплекта из L приборов, рассмотренных в варианте 2, – вариант 3;

3) использование для определения азимута и воспроизведения ЭН инфраструктуры и аппаратуры БЭГ типа 15Н1313, и космических навигационных систем (КНС) для определения астрономических азимутов внешней ориентирной сети – вариант 4;

4) проведение аттестации ГП на двух БЭГ, рассмотренных в варианте 4, – вариант 5;

5) использование для определения азимута и воспроизведения ЭН инфраструктуры и аппаратуры БЭГ типа 15Н1313 с традиционными средствами определения астрономических азимутов внешней ориентирной сети (астрокомплексом 15Ш59) – вариант 6;

6) проведение аттестации ГП на двух БЭГ, рассмотренных в варианте 6, – вариант 7.

Таким образом, погрешность определения азимута ЭН для проведения аттестации ГП для актуальных вариантов построения СКВАВ второго вида могут быть представлены как

$$\delta_{ЭН2} = \delta_{cl2} + \delta_{сис2}^{неустп} + \delta_{HЭН2}, \quad (10)$$

где δ_{cl2} – случайная погрешность определения азимута ЭН астрономическим прибором;

$\delta_{сис2}^{неустп}$ – неустраняемая систематическая погрешность астрономического прибора, связанная с методами измерений и геофизическими свойствами среды;

$$\delta_{ЭН3} = \delta_{сисАмм3}^{неустп} + \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\delta_{cl3i} + \delta_{HЭН3i} + \delta_{сисПпр3i}^{неустп}), \quad (11)$$

где $\delta_{сисАмм3}^{неустп}$ – неустраняемая систематическая погрешность астрономического прибора, связанная с геофизическими свойствами среды;

$\delta_{сисПпр3i}^{неустп}$ – неустраняемая систематическая погрешность астрономического прибора, связанная с методами измерений и геофизическими свойствами среды;

$$\delta_{ЭН4} = \delta_{ВОС}^{KCH} + \delta_{np} + \delta_{\beta} + \delta_{\alpha} + \delta_n, \quad (12)$$

где $\delta_{ВОС}^{KCH}$ – погрешность определения среднего азимута ориентирной сети БЭГ (КОН С5-С2, С3-С4) с использованием относительного метода космической геодезии комплектом спутниковой геодезической аппаратуры;

δ_{np} – погрешность приведения среднего геодезического азимута внешней опорной сети (ОС) к пунктам Ф1, Ф2;

δ_{β} – средняя за время аттестации одного прибора ошибка угловой передачи азимута от хранителей ОС (от пунктов Ф1,Ф2) на хранители эталонных направлений (ХЭН);

δ_{α} – реализация нестабильности среднего азимута ориентирной сети БЭГ от пунктов Ф1,Ф2 в период проведения конкретной аттестации;

δ_n – погрешность воспроизведения ЭН, связанная с ошибками изготовления отражающих поверхностей граней ХЭН и паспортизации углов между гранями;

$$\delta_{ЭН5} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (\delta_{ВОСi}^{KCH} + \delta_{npi} + \delta_{\beta i} + \delta_{\alpha i} + \delta_{ni}); \quad (13)$$

$$\delta_{ЭН6} = \delta_{ВОС}^{Асмп} + \delta_{np} + \delta_{\beta} + \delta_{\alpha} + \delta_n = \delta_{ВОС}^{Асмп} + \delta_m, \quad (14)$$

где $\delta_{ВОС}^{Асмп}$ – погрешность определения среднего азимута ориентирной сети БЭГ (КОН С5-С2, С3-С4) с использованием астрокомплекта 15Ш59;

$$\delta_{ЭН7} = \delta_{сисАмм7}^{неустп} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (\delta_{cl7i} + \delta_{сисПпр7i}^{неустп} + \delta_{mi}), \quad (15)$$

где $\delta_{сисАмм7}^{неустп}$ – неустраняемая систематическая погрешность астрокомплекта 15Ш59, связанная с геофизическими свойствами среды;

$\delta_{\text{систПр}7i}^{\text{неустр}}$ – неустраняемая систематическая погрешность астрокомплекта 15Ш59, связанная с методами измерений и геофизическими свойствами среды.

Все составляющие погрешности определения азимута ЭН предполагаются независимыми и имеющими нормальное распределение.

Таким образом, общие выражения для СКО ошибки определения азимута ЭН СКВАВ второго вида, с учетом соответствующих составляющих СКО, могут быть представлены как

$$\sigma_{\text{ЭН}2} = \sqrt{\sigma_{\text{сл}2}^2 + \sigma_{\text{сист}2}^{\text{неустр}2} + \sigma_{\text{НЭН}2}^2}; \quad (16)$$

$$\sigma_{\text{ЭН}3} = \sqrt{\frac{1}{2}\sigma_{\text{сл}3}^2 + \sigma_{\text{сист}Атм}^{\text{неустр}2} + \frac{1}{2}\sigma_{\text{систПр}3}^{\text{неустр}2} + \frac{1}{2}\sigma_{\text{НЭН}3}^2}; \quad (17)$$

$$\sigma_{\text{ЭН}4} = \sqrt{\sigma_{\text{ВОС}}^{\text{КНС}2} + \sigma_{\text{нр}}^2 + \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\text{н}}^2}; \quad (18)$$

$$\sigma_{\text{ЭН}5} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_{\text{ВОС}}^{\text{КНС}2} + \sigma_{\text{нр}}^2 + \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\text{н}}^2)} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sigma_{\text{ЭН}4}; \quad (19)$$

$$\sigma_{\text{ЭН}6} = \sqrt{\sigma_{\text{ВОС}}^{\text{Астр}2} + \sigma_{\text{нр}}^2 + \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\text{н}}^2}; \quad (20)$$

$$\sigma_{\text{ЭН}7} = \sqrt{\frac{1}{2}\sigma_{\text{сл}7}^2 + \sigma_{\text{сист}Атм}^{\text{неустр}2} + \frac{1}{2}\sigma_{\text{систПр}7}^{\text{неустр}2} + \frac{1}{2}(\sigma_{\text{нр}}^2 + \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\text{н}}^2)}. \quad (21)$$

Таким образом, полученные выше зависимости представляют собой модели ошибок определения контрольного азимута аппаратурой СКВАВ для всех рациональных схем построения СКВАВ. Полученные зависимости точности контроля азимутальной выставки чувствительных элементов систем управления ракет от параметров контрольных систем позволят оценить достижимые уровни точности СКВАВ и обеспечить решение оптимизационных задач при формировании технического облика перспективных СКВАВ и обосновании требований к ним.

Материал поступил в редакцию 02. 12. 2008г.