

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕЧНЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

д.т.н., проф. А.М. Крюков, С.А. Тышко

*В статье на основе анализа существующих методик выбора перечня контролируемых параметров предложена методика определения рациональной совокупности контролируемых параметров системы подготовки геодезических данных, которая учитывает специфику ее построения и применения.*

**Постановка проблемы.** Для организации метрологического обслуживания системы подготовки геодезических данных (СПГД) необходимо иметь информацию о составе параметров, характеризующих ее техническое состояние. Функция проведения измерительного контроля возлагается на подсистему контроля параметров (ПКП) системы метрологического обслуживания (СМОб) СПГД. Состав контролируемых параметров оказывает определяющее влияние на облик ПКП СМОб.

**Анализ литературы.** Известные методики выбора контролируемых параметров можно условно разделить на две группы [1 – 4]: экспертные и расчетные. Экспертные методы сводятся к определению индивидуальных оценок каждого параметра группой экспертов. Главным недостатком экспертных методов является влияние субъективного фактора. Расчетные методы основаны на оценке важности каждого параметра. При этом оцениваются надежностные характеристики элементов, используемые при формировании контролируемого параметра, либо оценивается влияние каждого элемента на качество решения измерительной задачи. При реализации существующих расчетных методов вводится ряд допущений, одним из которых является допущение о невозможности компенсации выхода за допуск одного из параметров другими параметрами, участвующими в формировании контролируемого параметра. Режимы определения исходных геодезических данных с использованием новых технологий изложены в [5 – 7]. В состав СПГД входят следующие измерительные подсистемы (ИП): подсистемы измерения угла в горизонтальной и вертикальной плоскостях, подсистема измерения дальности, подсистемы определения координат с использованием АП СРНС и в автономном режиме, автоматизированный гироскоп.

Анализ режимов определения исходных геодезических данных поз-

воляет сформулировать особенности СПГД, как объекта метрологического обслуживания. К таким особенностям СПГД относятся: применение косвенных методов измерений, наличие нескольких режимов определения одной и той же физической величины, использование одних и тех же ИП в нескольких различных режимах.

Из анализа существующих методов определения рациональной совокупности контролируемых параметров и особенностей СПГД, как объекта метрологического обслуживания, следует, что предположения, используемые при определении перечня контролируемых параметров, не отражают специфику построения и применения СПГД. Это обусловлено различным влиянием на точность определения геодезических данных одной и той же ИП в различных режимах.

**Цель статьи.** Создание методики определения перечня контролируемых параметров, наиболее полно учитывающей особенности построения СПГД и режимы определения геодезических данных.

**Основные положения методики.** Определение рациональной совокупности параметров, характеризующих техническое состояние СПГД, проводится с учетом следующих требований [4]: обеспечение установленного уровня информативности проведения контроля; обеспечение установленного уровня надежности функционирования ИП СПГД; обеспечение возможности контроля совместного функционирования нескольких ИП СПГД.

Тогда под оптимальной совокупностью контролируемых параметров [8] будем понимать такую совокупность, которая обеспечит минимальное количество контролируемых параметров при полном охвате всего перечня ИП, входящих в состав СПГД, и позволит достичь установленного значения информативности контроля параметров СПГД.

Для определения оптимальной совокупности контролируемых параметров используется математическая модель погрешности определения геодезических данных СПГД, которая представлена в [5 – 7].

Данная модель определяет зависимость погрешности определения геодезических данных во всех режимах от погрешности определения параметров, используемых для формирования результата измерения.

С учетом вышеизложенного, предлагается следующая методика определения оптимальной совокупности контролируемых параметров СПГД.

1. *Сбор исходных данных* согласно следующего перечня: математическая модель погрешности определения геодезических данных; перечень режимов определения геодезических данных, реализованных в СПГД; перечень ИП, входящих в состав СПГД.

2. Определение очередности проведения выбора контролируемых па-

раметров для измерительных комплексов (ИК), входящих в состав СПГД.

2.1. *Формирование матрицы* зависимостей выходных физических величин (ВФВ) СПГД от физических величин, определяемых ИК.

Матрица имеет следующую форму: в строках и столбцах матрицы указывается перечень ВФВ  $V_i$ ;

Матрица формируется в соответствии со следующим правилом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } V_i = f(V_j); & i = 1..N; \\ 0, & \text{если } V_i \neq f(V_j); & j = 1..N, \end{cases} \quad (1)$$

где  $N$  – общее количество ВФВ, определяемых СПГД.

Зависимость  $V_i = f(V_j)$  определяется с использованием математической модели погрешности определения геодезических данных СПГД. Для этого записывается аналитическое соотношение, описывающее формирование погрешности для столбца  $V_i$ . С использованием данного соотношения определяется перечень физических величин, определяемых  $j$ -м ИК, от которых зависит погрешность ВФВ СПГД.

2.2. Определение очередности проведения выбора контролируемых параметров для ИК. Первым анализируется тот  $j$ -й ИК, для которого

$$\sum_{i=1}^N a_{ij} > \sum_{i=1}^N a_{ik} . \quad (2)$$

3. *Определение параметров*, участвующих в формировании результата измерений в нескольких режимах определения геодезических данных исследуемого ИК.

3.1. Формирование множества параметров для каждого режима, реализованного в исследуемом ИК.

Формирование множества параметров проводится с использованием математической модели погрешности определения геодезических данных СПГД.

Для этого записывается аналитическое соотношение, описывающее формирование погрешности результата измерения в рассматриваемом режиме. С использованием данного соотношения определяется перечень параметров, от которых зависит погрешность результата определения.

Во множество включаются все параметры, используемые для формирования погрешности результата измерений в рассматриваемом режиме за исключением тех, которые являются ВФВ для ИК, анализируемого первым. Множество параметров для каждого режима измерения имеет вид

$$V_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,r}), \quad (3)$$

где  $V_i$  –  $i$ -й режим определения геодезических данных, реализованный в ИК;  $v_{i,s}$  –  $s$ -й параметр, используемый для формирования результата измерений в  $i$ -м режиме определения геодезических данных.

3.2. Определение параметров, участвующих в нескольких режимах измерения геодезических данных, проводится путем выполнения поочередно операции логического «И» для каждого множества:

$$V_1 \cap V_2, \quad V_3 \cap V_4, \quad \dots \quad V_i \cap V_k \dots \quad V_i \cap V_N, \quad i \neq k. \quad (4)$$

В результате выполнения указанной операции получим перечень параметров, которые задействуются в нескольких режимах определения геодезических данных. Полученный перечень вводится в рациональную совокупность контролируемых параметров.

4. *Определение параметров*, характеризующих техническое состояние нескольких ИП.

Для определения данного перечня параметров используется матрица, формируемая следующим образом: в столбцах матрицы указывается перечень параметров  $C_e$  (за исключением тех, которые введены в совокупность контролируемых); в строках матрицы указывается перечень ИП  $c_h$ , которые используются для формирования параметров.

При формировании матрицы необходимо учитывать, что

$$d_{eh} = \begin{cases} 1 & \text{если } C_e = f(c_h), \quad e = 1..E; \\ 0 & \text{если } C_e \neq f(c_h), \quad h = 1..H, \end{cases} \quad (5)$$

где  $E$  – общее количество параметров;  $H$  – общее количество ИП.

Зависимость  $C_e = f(c_h)$  определяется с использованием математической модели погрешности определения геодезических данных СПГД. Для этого записывается аналитическое соотношение, описывающее формирование погрешности для столбца  $C_e$ . С использованием данного соотношения определяется перечень ИП, от которых зависит погрешность параметра  $C_e$ .

Параметр, характеризуемый столбцом, в котором количество единиц является наибольшим [4], выбирается в качестве контролируемого параметра.

Полученная таким образом совокупность параметров дополняет совокупность, полученную в п. 3.

Применение методики рассмотрим на примере СПГД, в которой использованы новые технологии [5 – 7].

1. *Сбор исходных данных*. Состав СПГД: навигационный комплекс (НК) [5]: приемник АП СРНС, инерциальная навигационная система; комплекс измерения угла азимутальной ориентации (КУАО) [6, 7]: под-

система измерения угла в горизонтальной (УГ) и вертикальной плоскостях (УВ), подсистема измерения дальности (ПД), автоматизированный гирокомпас (АГК). Математическая модель такой СПГД и режимы определения геодезических данных представлены в [5, 6].

2. *Определение очередности* проведения выбора контролируемых параметров для ИК, входящих в состав СПГД.

2.1. Формирование матрицы зависимости ВФВ СПГД от физических величин, измеряемых ИК. Матрица зависимости выходных физических величин СПГД от физических величин, измеряемых ИК, представлена в табл. 1.

Таблица 1

	$\sigma_{\langle X^k \rangle}$	$\sigma_{A_{\Pi}}$
$\sigma_{\langle X^k \rangle}$	1	0
$\sigma_{A_{\Pi}}$	1	1

2.2. Определение очередности контролируемых параметров для ИК:

$$\sum_{i=1}^N a_{i1} = 2; \quad \sum_{i=1}^N a_{i2} = 1.$$

Тогда, согласно (2), первым анализируется НК.

3. Определение параметров, участвующих в формировании результата измерений в нескольких режимах определения геодезических данных исследуемого ИК.

3.1. Определение множества параметров для каждого режима, реализованного в ИК.

Запишем аналитические соотношения для погрешностей определения геодезических данных каждым из ИК во всех режимах.

*Для НК:* в комплексированном режиме [5]:

$$\sigma_{K^k} = \sqrt{\sigma_{\Pi y}^2 + \sigma_{K K C}^2 + \sigma_k^2},$$

где  $\sigma_{\Pi y}$  – СКО шумовой погрешности приемника АП СРНС;  $\sigma_{K K C}$  – СКО шумовой погрешности приемника АП СРНС, расположенного на контрольно-корректирующей станции (ККС);  $\sigma_k$  – СКО погрешности определения координат ККС;

в автономном режиме [5]:

$$\sigma_{K^{ав}} = \begin{cases} \sigma_{ИНС}, & \text{при } t_i < t_k; \\ \sigma_{\langle K^k \rangle}, & \text{при } t_i = t_k. \end{cases}$$

Тогда множество параметров для НК будет иметь вид:

$$\sigma_{\langle K^{ав} \rangle} = \left( \sigma_{\langle K^k \rangle}, \sigma_{\langle K_{ИНС} \rangle} \right); \quad \sigma_{\langle K^k \rangle} = \left( \sigma_{\langle K_{АП} \rangle}, \sigma_{\langle K_{КК} \rangle}, \sigma_k \right).$$

*Для КУАО:* а) в режиме с использованием приемника АП СРНС [7]

$$\sigma_{A_{\Pi}^{АП}} = \sqrt{\sigma_{\text{бн}}^2 + \sigma_{\beta}^2},$$

где  $\sigma_{\text{бн}}$  – СКО погрешности определения азимута базового направления по информации от приемников АП СРНС;  $\sigma_{\alpha}$  – СКО погрешности ИП определения УГ;

б) в режиме на заранее подготовленном в топогеодезическом отношении районе [7]:

$$\sigma_{A_{\Pi}^{\text{под}}} = \sqrt{\sigma_{\text{апсн}}^2 \left( K_{XD}^2 + K_{XC}^2 + K_{YD}^2 + K_{YC}^2 \right) + (K_{\alpha} \sigma_{\alpha} + \sigma_{\alpha})^2 + K_{\beta}^2 \sigma_{\beta}^2 + K_a^2 \sigma_a^2},$$

где  $\sigma_{\beta}$  – СКО погрешности ИП определения УВ;  $\sigma_a$  – СКО погрешности измерительной ПД;

в) в автономном режиме [6]:

$$\sigma_{A_{\Pi}^{\text{ав}}} = \sqrt{\sigma_{\text{эн}}^2 + \sigma_{\Gamma K}^2 + \frac{\sigma_{\Gamma K}^2}{n_0}},$$

где  $\sigma_{\text{эн}}$  – предельное значение СКО погрешности задания эталонного направления;  $\sigma_{\Gamma K}$  – значение СКО случайной составляющей погрешности АГК;  $n_0$  – число пусков при проведении эталонирования АГК.

Тогда для КУАО множество параметров будет иметь вид:

$$\sigma_{A_{\Pi}^{\text{под}}} = (\sigma_{\alpha}, \sigma_{\beta}, \sigma_a), \quad \sigma_{A_{\Pi}^{\text{ав}}} = (\sigma_{\Gamma K}), \quad \sigma_{A_{\Pi}^{\text{АП}}} = (\sigma_{\alpha}).$$

3.2. Определение параметров, участвующих в нескольких режимах:

а) для НК:  $\sigma_{\langle K^{\text{ав}} \rangle} \cap \sigma_{\langle K^{\text{к}} \rangle} = \sigma_{\langle K^{\text{к}} \rangle}$ ;

б) для КУАО:  $\sigma_{A_{\Pi}^{\text{зпп}}} \cap \sigma_{A_{\Pi}^{\text{ав}}} = 0$ ,  $\sigma_{A_{\Pi}^{\text{зпп}}} \cap \sigma_{A_{\Pi}^{\text{АП}}} = \sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{A_{\Pi}^{\text{ав}}} \cap \sigma_{A_{\Pi}^{\text{АП}}} = 0$ .

Для СПГД, рассмотренной в качестве примера, к таким параметрам относятся: для НК –  $\sigma_{\langle K^{\text{к}} \rangle}$ , для КУАО –  $\sigma_{\alpha}$ .

Таким образом, в оптимальную совокупность контролируемых параметров вводятся вышеуказанные параметры.

4. Определение параметров, характеризующих техническое состояние нескольких ИП.

Для СПГД, рассматриваемой в качестве примера, матрица определения параметров, характеризующих техническое состояние нескольких ИП, представлена в табл. 2. К

Таблица 2

	$\sigma_{\beta}$	$\sigma_{\alpha}$	$\sigma_{\text{с'}}$	$\sigma_{\Gamma K}$
ПД	0	1	1	0
УВ	1	0	1	0
АГК	0	0	0	1

таким параметрам относятся параметр  $\sigma_{c'}$ , а также  $\sigma_{ГК}$ .

Таким образом, в оптимальную совокупность контролируемых параметров для СПГД, предложенной в качестве примера, вводится следующий набор параметров:  $\sigma_{c'}$ ,  $\sigma_{ГК}$ ,  $\sigma_{\langle K^k \rangle}$ ,  $\sigma_{\alpha}$ .

**Выводы.** Предложенная методика позволяет определить рациональную совокупность контролируемых параметров для СПГД, которые характеризуются следующими особенностями: применение косвенных методов измерений, наличие нескольких режимов измерения одной и той же физической величины и использование в различных режимах измерений общих ИП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. *Основы теории построения и контроля сложных систем.* – Л-д: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с
2. Евланов Л.Г. *Контроль динамических систем.* – М.: Наука, 1979. – 432 с.
3. Кузнецов А.А. *Оптимизация параметров баллистических ракет по эффективности.* – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
4. *Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплектов вооружения и военной техники. Кн. 2. Методика оценки обоснования выбора контролируемых параметров и их допустимых отклонений.* – М.: Военное издательство, 1986. – 72 с.
5. Соловьев Ю.А. *Системы спутниковой навигации.* – М.: Эко-трендз, 2000. – 276 с.
6. Никитин Е.А., Шестиков С.А. *Гироскопические системы Ч. 2.* – М.: Высш. шк., 1988. – 307 с.
7. Крюков А.М., Тышко С.А. *Применение аппаратуры потребителя спутниковой навигации для определения азимутальной ориентации жесткого протяженного объекта // Системы обработки информации.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. № 4(14). – С. 176 – 180.
8. Гнедов Г.П., Росенбаули О.Б., Шумов Ю.А. *Проектирование систем контроля ракет.* – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.

Поступила 20.02.2004

**КРЮКОВ Александр Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ХВУ. В 1985 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – теоретические и прикладные основы построения и метрологического обеспечения измерительных систем специального назначения.

**ТЫШКО Сергей Александрович**, адъюнкт кафедры ХВУ. В 1992 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – метрологическое обслуживание измерительных систем специального назначения.