

УДК 621.391

А.І. Собора

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОГО ПОЛІГОННОГО ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Запропонована модель формування раціонального складу засобів мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу.

Ключові слова: засіб вимірювань, об'єкт випробувань, канал вимірювань, точність вимірювань.

Вступ

Постановка проблеми. Одним із етапів при плануванні проведення випробувань на полігонах Збройних Сил (ЗС) України нових або модернізованих зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) з метою визначення рівня відповідності їх бойових та інших характеристик оперативно-тактичним та тактико-технічним вимогам, є відпрацювання пропозицій щодо складу засобів вимірювань мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу (ПВОК) [1]. Варто відзначити, що при відпрацюванні цих пропозицій необхідно розв'язати дві задачі. Так, у випадку, коли на полігоні засоби вимірювань (ЗВ) в наявності, то при організації проведення випробувань виникає задача оптимального використання цих засобів, тобто задача функціонального синтезу ПВОК. У випадку, якщо на полігоні ЗВ відсутні, то виникає задача формування раціонального складу засобів вимірювань мобільного ПВОК тобто задача структурного синтезу. Важливо відмітити, що їх треба розв'язувати погоджено. Отже, на етапі організації проведення випробувань важливим моментом є структурно-функціональний підхід щодо синтезу раціонального складу засобів вимірювань ПВОК та визначення порядку їх використання. Крім того, при визначенні складу ЗВ необхідно враховувати як характеристики об'єктів випробувань, так і вимоги до точності та вартості використання засобів ПВОК [2].

На сьогоднішній день структурно-функціональний синтез раціонального складу засобів ПВОК здійснюється евристичними, інтуїтивними методами та залежить, перш за все, від кваліфікації та досвіду фахівців, які планують випробування.

Виклад основного матеріалу

В роботі [3] запропонована математична модель оптимального використання засобів ПВОК на основі критерію «вартість/точність». Особливістю запропонованої моделі є те, що в її рамках визначається порядок використання наявних засобів ПВОК, тобто вирішується задача лише функціонального синтезу ПВОК. Але, як показує практика, в

багатьох випадках випробування зразків ОВТ здійснюються на полігонах, де засоби вимірювань ПВОК відсутні або їх не вистачає. В той же час в умовах обмеженого фінансування випробування зразків ОВТ на тому чи іншому полігоні необхідно провести з мінімальними витратами. Одним із чинників, який впливає на матеріальні витрати під час випробувань є кількість задіяних ЗВ ПВОК, які необхідно перебазувати на визначений полігон. В зв'язку з чим, в даній роботі запропоновано розвиток моделі [3], в рамках якої, формування раціонального складу засобів вимірювань мобільного ПВОК здійснюється на основі мінімізації їх кількості шляхом зміни виду цільової функції та введення додаткових керуючих змінних та умов-обмежень.

В рамках моделі [3] керуючою змінною запропонована величина:

$$x_{i,j}^{k,m} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-м ЗВ за допомогою } j\text{-го КВ} \\ & \text{оцінюється } m\text{-й параметр } k\text{-го зразка ОВТ}; (1) \\ 0, & \text{в протилежному випадку,} \end{cases}$$

при $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, J_N}$; $k = \overline{1, K}$; $m = \overline{1, M_k}$, де N – загальна кількість засобів вимірювань; J_N – кількість каналів вимірювань (КВ) N -го засобу; K – загальна кількість об'єктів випробувань; M_k – кількість параметрів вимірювань (ПВ), які необхідно оцінити в k -го об'єкті випробувань.

В залежності від призначення ЗВ та типу його каналів вимірювань на керуючі змінні (1) накладаються обмеження декількох типів.

Обмеження 1-го типу: $1 \text{ КВ} \rightarrow 1 \text{ ПВ} \rightarrow 1 \text{ ОВ}$, для якого характерним є те, що канал вимірювань може оцінювати лише один параметр вимірювань (ПВ) одного об'єкту випробувань:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} x_{i,j}^{k,m} \leq 1, \quad (2)$$

при $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, J_N}$.

Обмеження 2-го типу: $1 \text{ КВ} \rightarrow M \text{ ПВ} \rightarrow 1 \text{ ОВ}$, для якого характерним є те, що канал вимірювань

може оцінювати декілька параметрів, але одного об'єкту випробувань:

$$x_{i,j}^{k,m} + x_{i,j}^{l,g} \leq 1, \quad (3)$$

при $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, J_N}$; $k \neq l$; $m \neq g$.

Обмеження 3-го типу: 1 КВ \rightarrow М ПВ \rightarrow К ОВ, для якого характерним є те, що канал вимірювань може оцінювати декілька параметрів, різних об'єктів випробувань.

Крім того, введена умова того, що кожен параметр кожного об'єкту випробувань буде оцінений один раз одним із каналів вимірювань ЗВ:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{J_i} x_{i,j}^{k,m} = 1. \quad (4)$$

У ході розрахунку керуючих змінних (1) як критерій оптимальності використовується мінімум лінійної вартісної функції:

$$\min_X \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} c_{i,j}^{k,m} \cdot x_{i,j}^{k,m}, \quad (5)$$

яка характеризує сумарні затрати за використання каналів вимірювань задіяних засобів вимірювань для оцінки параметрів об'єктів випробувань. У виразі (5) вагові коефіцієнти $c_{i,j}^{k,m}$ визначають умовні вартості використання j -го каналу i -го засобу для оцінки m -го параметру k -го об'єкту випробувань.

В моделі (1–5) передбачається, що всі засоби вимірювань доступні до безпосереднього використання, тобто знаходяться на визначеному полігоні у складі ПВОК.

На практиці дані засоби вимірювань можуть бути територіально розподілені по різним полігонам. В зв'язку з чим, під конкретні випробувальні задачі необхідно синтезувати структуру мобільного ПВОК, склад якого буде сформований із територіально розподілених засобів вимірювань, що знаходяться на різних полігонах. З цією метою в запропоновану модель, в доповнення до виразів (1–4) вводяться нові керуючі змінні:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо КВ використовується } i\text{-м ЗВ;} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й ЗВ не використовується,} \end{cases} \quad (6)$$

при $i = \overline{1, N}$.

В ході визначення керуючих змінних (1; 6) в доповнення до обмежень (2–4) вводяться наступні умови:

1) умова того, що КВ i -го ЗВ буде задіяний для вимірювань лише у випадку використання цього ЗВ під час випробувань:

$$x_{i,j}^{k,m} \leq y_i, \quad (7)$$

при $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, J_N}$; $k = \overline{1, K}$; $m = \overline{1, M_k}$.

2) умова того, що обов'язково буде задіяно не менше одного засобу вимірювань:

$$\sum_{i=1}^N y_i \geq 1. \quad (8)$$

У запропонованій моделі в ході розрахунку керуючих змінних (1; 6) як критерій оптимальності пропонується використовувати мінімум лінійної вартісної функції:

$$\min \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} c_{i,j}^{k,m} \cdot x_{i,j}^{k,m} + \sum_{i=1}^N c_{y_i} \cdot y_i \right), \quad (9)$$

в якій перший доданок характеризує сумарні затрати за використання каналів вимірювань ЗВ для оцінки параметрів об'єктів випробувань, а другий доданок характеризує сумарні затрати за включення до складу мобільного ПВОК засобів вимірювань. У виразі (9) ваговий коефіцієнт $c_{i,j}^{k,m}$ визначає умовну вартість використання j -го каналу i -го засобу для оцінки m -го параметру k -го об'єкту випробувань, а c_{y_i} визначає умовну вартість включення до складу мобільного ПВОК i -го засобу вимірювань.

На практиці вагові коефіцієнти c_{y_i} напряму залежать від наступних факторів: вартості транспортування ЗВ на визначений полігон, кількості екіпажу ЗВ, якому необхідно виплачувати кошти на відрядження, амортизація ЗВ та таке інше.

Моделювання процесу формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК з використанням запропонованої моделі

За основу був взятий варіант, коли необхідно провести випробування трьох об'єктів випробувань (рис. 1), оцінку параметрів яких можливо здійснити за допомогою чотирьох засобів вимірювань різних типів. При цьому ЗВ1 відноситься до першого типу, КВ якого може оцінити один параметр одного ОВ (обмеження 2), ЗВ2 відноситься до другого типу, КВ якого може вимірювати декілька параметрів, але одного ОВ (обмеження 3), ЗВ3 та ЗВ4 відносяться до третього типу, КВ яких можуть оцінювати декілька параметрів, різних ОВ. Будемо вважати, що вартість ЗВ3=700 тис грн.>ЗВ4=500 тис грн.>ЗВ1=400 тис.грн.>ЗВ2=200 тис.грн., а точність КВ: ЗВ1=1 м>ЗВ2=4 м>ЗВ4=6м>ЗВ3=10 м.

Результати моделювання розв'язання задачі формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК продемонструємо на наступних прикладах.

У першому прикладі, при плануванні проведення випробувань необхідно мінімізувати кількість задіяних засобів вимірювань, які необхідно перебазувати на визначений полігон для оцінки параметрів ОВ з врахуванням їх вартості використання.

У другому прикладі необхідно мінімізувати кількість задіяних засобів вимірювань з врахуванням як їх вартості використання, так і точності вимірювань.

Результати моделювання розв'язання задачі формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК продемонструємо на наступних прикладах. У першому прикладі, при плануванні проведення випробувань необхідно мінімізувати кількість задіяних засобів вимірювань, які необхідно

перебазувати на визначений полігон для оцінки параметрів ОБ з врахуванням їх вартості використання. У другому прикладі необхідно мінімізувати кількість задіяних засобів вимірювань з врахуванням як їх вартості використання, так і точності вимірювань.

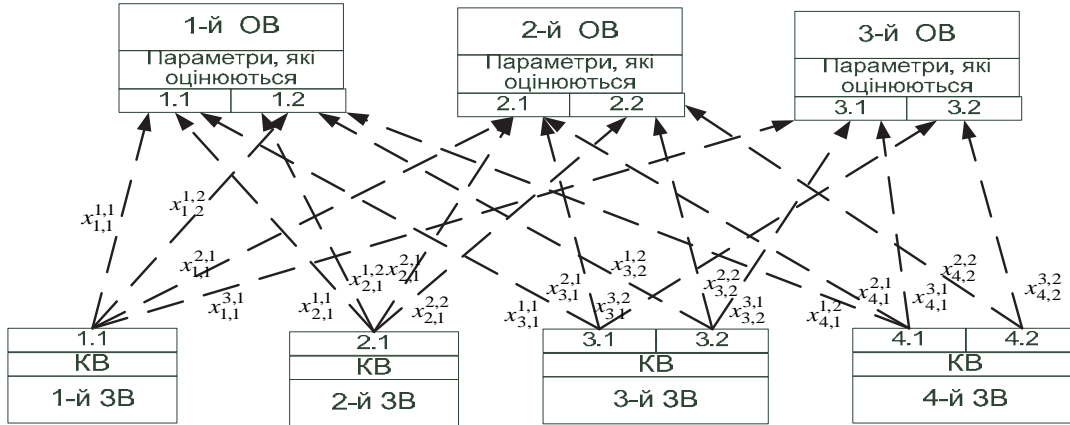


Рис. 1. Схема можливих варіантів використання засобів вимірювань для оцінки параметрів об'єктів випробувань

У першому прикладі значення вагових коефіцієнтів (9) приймають наступні значення: $c_{i,j}^{k,m} = 0$, а $c_{y_1} = 5,7$; $c_{y_2} = 2,9$; $c_{y_3} = 10$; $c_{y_4} = 7,1$. Чисельні значення вагових коефіцієнтів c_{y_i} сформовані згідно виразу:

$$c_{y_i} \cdot \quad (10)$$

Відповідно критерій оптимальності (9) запропонованої моделі (1–4); (6–9) в цьому випадку приймає наступний вид: $\min \sum_{i=1}^N c_{y_i} \cdot y_i$.

Результати моделювання з використанням моделі (1–4); (6–9) показали, що у першому прикладі в рамках запропонованих вихідних даних (рис. 1), для оцінки параметрів об'єктів випробувань достатньо перебазувати на визначений полігон лише третій засіб вимірювань, вартість використання якого буде складати – 700 тис. грн., при цьому (рис. 2): параметри ОБ1, ОБ2, ОБ3 пропонується оцінювати наступними каналами вимірювань: $x_{3,1}^{1,1}$, $x_{3,1}^{2,1}$, $x_{3,1}^{3,2}$, $x_{3,2}^{1,2}$, $x_{3,2}^{2,2}$, $x_{3,2}^{3,1}$.

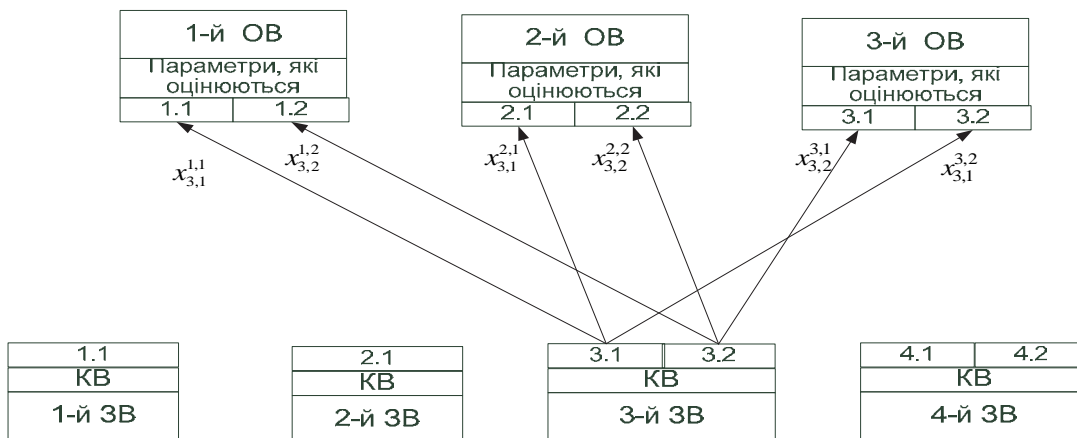


Рис. 2. Порядок формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК на основі мінімізації їх кількості за критерієм – «вартість»

Перший, другий та четвертий засоби вимірювань, не використовуються. Важливо відмітити, що згідно з вихідними даними сумарна вар-

тість використання другого та четвертого ЗВ також складає 700 тис. грн. та їх спільне використання дозволяє оцінити параметри всіх трьох ОБ.

Таким чином, в рамках запропонованої моделі для оцінки параметрів трьох ОВ пропонується застосовувати тільки третій ЗВ не дивлячись на його найбільшу вартість використання. Це пов'язано з тим, що за мету була поставлена задача провести випробування з мінімальною кількістю задіяних засобів вимірювань, які необхідно перебазувати на визначений полігон з врахуванням їх вартості.

У другому прикладі, коли необхідно мінімізувати кількість задіяних засобів вимірювань з врахуванням як їх вартості використання, так і точності вимірювань, в запропонованій моделі вартість використання враховується за допомогою вагових коефіцієнтів

c_{y_i} , які формуються згідно з виразом (10), а точність вимірювань враховується за допомогою вагових коефіцієнтів $c_{i,j}^{k,m}$, які формуються згідно з виразом:

$$c_{i,j}^{k,m} = \frac{10 \times \text{Точність } i\text{-го ЗВ}}{\text{Найгірша точність ЗВ}} \quad (11)$$

Для представлених вище вихідних даних, в табл. 1 наведені значення вагових коефіцієнтів $c_{i,j}^{k,m}$ та c_{y_i} , які сформовано згідно з виразом (11) та (10) відповідно.

Таблиця 1

Умовні вартості використання каналів вимірювань та ЗВ

		ЗВ1	ЗВ1	ЗВ3		ЗВ4	
		1-го типу	2-го типу	3-го типу		3-го типу	
		КВ	КВ	КВ1	КВ2	КВ1	КВ2
ОВ1	ПВ1	$c_{2,1}^{1,1} = 1$	$c_{2,1}^{1,1} = 4$	$c_{3,1}^{1,1} = 10$	–	–	–
	ПВ2	$c_{1,1}^{1,2} = 1$	$c_{2,1}^{1,2} = 4$	–	$c_{3,2}^{1,2} = 10$	$c_{4,1}^{1,2} = 6$	–
ОВ2	ПВ1	$c_{1,1}^{2,1} = 1$	$c_{2,1}^{2,1} = 4$	$c_{3,1}^{2,1} = 10$	–	$c_{4,1}^{2,1} = 6$	–
	ПВ2	–	$c_{2,1}^{2,2} = 4$	–	$c_{3,2}^{2,2} = 10$	–	$c_{4,2}^{2,2} = 6$
ОВ3	ПВ1	$c_{1,1}^{3,1} = 1$	–	–	$c_{3,2}^{3,1} = 10$	$c_{4,1}^{3,1} = 6$	–
	ПВ2	–	–	$c_{3,1}^{3,2} = 10$	–	–	$c_{4,2}^{3,2} = 6$
c_{y_i}		$c_{y_1} = 5,7$	$c_{y_2} = 2,9$	$c_{y_3} = 10$		$c_{y_4} = 7,1$	
Вартість використання ЗВ		400 тис. грн.	200 тис. грн.	700 тис. грн.		500 тис. грн.	
Точність ЗВ		1 м	4 м	10 м		6 м	

На рис. 3 та наведений приклад формування раціонального складу ЗВ мобільного ПВОК в рамках запропонованої моделі з врахуванням точності та вартості використання засобів вимірювань. Так під час випробувань трьох ОВ при наявності чотирьох ЗВ пропонується перебазувати на визначений полігон лише два засоби вимірювань (ЗВ2 та ЗВ4), причому:

– другий ЗВ використовує канал вимірювань, який оцінює перший та другий параметри першого об'єкту випробувань ($x_{2,1}^{1,1}, x_{2,1}^{1,2}$);

– четвертий ЗВ використовує перший та другий канали вимірювань, які оцінюють відповідно перший та другий параметри другого об'єкту випробувань ($x_{4,1}^{2,1}, x_{4,2}^{2,2}$);

– четвертий ЗВ використовує перший та другий канали вимірювань, які оцінюють відповідно перший та другий параметри третього об'єкту випробувань ($x_{4,1}^{3,1}, x_{4,2}^{3,2}$).

Перший та четвертий засоби вимірювань не було включено до складу мобільного ПВОК.

Отже, в зв'язку з тим, що при формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК необхідно врахувати як їх точність, так і вартість використання, в рамках запропонованої моделі (1–4); (6–9) для оцінки параметрів ОВ пропонується застосовувати другий та четвертий ЗВ, сумарна вартість використання яких складає 700 тис. грн.

Висновок

В статті отримала подальший розвиток модель формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК. Новизна моделі полягає у введенні додаткових керуючих змінних (6), умов обмежень (7–8) та модернізації форми та змісту цільової функції. Виконання цих обмежень та використання цільової функції (9) дозволяє здійснювати процес формування складу засобів мобільного ПВОК таким чином, щоб параметри ОВ були оцінені з використанням мінімальної кількості засобів вимірювань, які необхідно перебазувати на визначений

ний полігон. При цьому, в рамках запропонованої моделі, при формуванні складу засобів вимірювань мобільного ПВОК за допомогою вагових коефіцієнтів

$c_{i,j}^{k,m}$ та c_{y_i} є можливість враховувати як їх ваговість використання, так і точність.

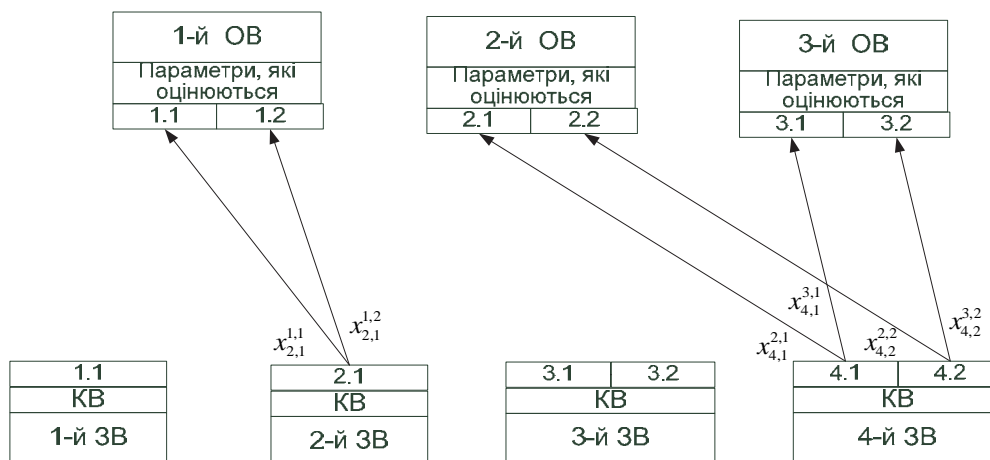


Рис. 3. Порядок формування раціонального складу засобів мобільного ПВОК за критерієм «ваговість/точність»

Список літератури

1. Чумак Б.О. Принципи побудови та структура перспективного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу як елемента системи випробувань озброєння та військової техніки / Б.О. Чумак, М.В. Бархударян, К.К. Кулагин // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ. – 2008. – Вип. 2(6). – С. 55-59.

2. Коломійцев О.В. Лазерна інформаційно-вимірювальна система з можливістю пошуку ЛА / О.В. Коломійцев // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС. – 2009. – Вип. 3(19). – С. 22-24.

3. Башинський В.Г. Розробка моделі оптимального використання засобів полігонного вимірювально-обчислювального комплексу на основі критерію ваговість/точність / В.Г. Башинський, Ю.М. Добришкін, А.І. Собора // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2017. – Вип. 2(51). – С. 28-34.

Надійшла до редколегії 23.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.І. Денісов, Державний науково-випробувальний центр, Чернігів.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА СРЕДСТВ МОБИЛЬНОГО ПОЛИГОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

А.И. Собора

Предложена модель формирования рационального состава средств мобильного полигонного измерительно-вычислительного комплекса.

Ключевые слова: средство измерений, объект испытаний, канал измерений, точность измерений.

THE MODEL OF FORMATION OF THE RATIONAL COMPOSITION OF THE MOBILE POLYGON MEASURING AND COMPUTING COMPLEX

A. Sobora

A model is proposed for the formation of a rational composition of the mobile polygon measuring and computing complex.

Keywords: measurement instrument, test object, measurement channel, accuracy of measurements.