

УДК 519.87:316.458.6

В.Б. Кононов<sup>1</sup>, В.В. Бурцева<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Харків

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ НА МЕТРОЛОГІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИХ РІВНЯНЬ

В статті запропоновано метод прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ) зразків озброєння та військової техніки. Прогнозування кількості замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ є важливою умовою ефективного планування метрологічного обслуговування. Існуючі методи прогнозування потреби метрологічного обслуговування зразків ВЗВТ засновані на використанні багатofакторних регресійних моделей. Але в них не враховувалися питання можливої взаємозалежності ендогенних змінних, які використовуються при моделюванні завдань прогнозу і які впливають на обсяг замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ різних типів. Для вирішення такого завдання розроблена математична модель прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ на основі системи взаємозалежних рівнянь, в яких ендогенні змінні (кількість замовлень) залежать як від значень факторів (кількість зразків ОВТ), які оснащені відповідними типами ВЗВТ, так й від значень кількості замовлень – інших ендогенних змінних. Але для застосування моделі потрібно проводити оцінювання її структурних параметрів. В статті розглянуті необхідні та достатні умови ідентифікованості системи взаємозалежних рівнянь, яка пропонується для прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ та запропоновано двохкроковий метод найменших квадратів, який дозволяє отримати незміщені та обґрунтовані оцінки для оцінювання структурних параметрів системи взаємозалежних рівнянь.

**Ключові слова:** метод прогнозування, метрологічне обслуговування, засоби вимірювальної техніки, замовлення на метрологічне обслуговування, озброєння та військова техніка.

### Вступ

**Постановка задачі.** Вдосконалення управління силами й засобами метрологічного обслуговування зразків озброєння і військової техніки є важливим чинником підтримання бойової готовності військових частин та підрозділів і неможливе без визначення очікуемого стану зразків ОВТ на той чи інший момент часу [1–2]. Від точності і достовірності прогнозу стану ВЗВТ залежить ефективність реалізації прийманих управлінських рішень як в оцінці потреби проведення метрологічного обслуговування зразків ОВТ, так й визначенні кількості та розподілу пересувних метрологічних лабораторій, які будуть виконувати ті чи інші види обслуговування на місцях дислокації військових частин [3].

Таким чином, наукове обґрунтування методу прогнозування потреби з метрологічного обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз літератури. Питання організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки в Збройних Силах України. В роботах [4–7] розглянуті питання використання інформаційних технологій для оптимізації завдань метрологічного обслуговування зразків ОВТ. Методи використання багатofакторних регресійних моделей для прогнозування потре-

би метрологічного обслуговування зразків викладені в [8]. Разом з тим, в цих роботах не враховувалися питання можливої взаємозалежності ендогенних змінних, які використовуються при моделюванні завдань прогнозу і які впливають на обсяг замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ різних типів. Хоча, в роботі [9] запропонована математична модель завдання прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ на основі системи взаємозалежних рівнянь, в яких ендогенні змінні (кількість замовлень) залежить як від значень факторів (кількість зразків ОВТ), які оснащені відповідними типами ВЗВТ, так й від значень кількості замовлень – інших ендогенних змінних, але не запропонований метод визначення оцінок значущих параметрів системи взаємозалежних рівнянь, що описують процес метрологічного обслуговування.

**Метою статті** є обґрунтування методу застосування математичної моделі прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ на основі системи взаємозалежних рівнянь, в яких ендогенні змінні (кількість замовлень) залежить як від значень факторів (кількість зразків ОВТ), які оснащені відповідними типами ВЗВТ, так й від значень кількості замовлень – інших ендогенних змінних з оцінюванням параметрів системи взаємозалежних рівнянь, на основі якого в залежності

від значень кількості зразків ОБТ можливо спрогнозувати кількості замовлень на метрологічне обслуговування кожного зразка ВЗВТ.

### Виклад основного матеріалу

Систему взаємозалежних рівнянь (система одночасних рівнянь, структурна форма моделі [6–7]), яка запропонована в [6], має вигляд:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \sum_{k \in N_1} \beta_{1k} \gamma_k + \alpha_{10} + \sum_{u \in M_1} \alpha_{1u} \chi_u + \varepsilon_1; \\ \gamma_2 &= \sum_{k \in N_2} \beta_{2k} \gamma_k + \alpha_{20} + \sum_{u \in M_2} \alpha_{2u} \chi_u + \varepsilon_2; \\ \gamma_j &= \sum_{k \in N_j} \beta_{jk} \gamma_k + \alpha_{j0} + \sum_{u \in M_j} \alpha_{ju} \chi_u + \varepsilon_j; \\ \gamma_m &= \sum_{k \in N_m} \beta_{mk} \gamma_k + \alpha_{m0} + \sum_{u \in M_m} \alpha_{mu} \chi_u + \varepsilon_m. \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\gamma_j; j = \overline{1, m}$  – ендегенна змінна, яка визначає кількість замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ  $j$ -го типу;

$m$  – кількість типів ВЗВТ;

$\chi_u; u = \overline{1, n}$  – фактор або незалежна змінна (екзогенна змінна), що впливає на результат визначення кількості зразків ОБТ  $u$ -го виду, тобто впливає на результат визначення кількості зразків ОБТ  $u$ -го виду, тобто впливає на результат визначення кількості ендегенних змінних;

$\beta_{jk}; d_{jn}; j = \overline{1, m}; k = \overline{1, n}; k \in N_j$  – параметри моделі;

$N_j; j = \overline{1, m}$  – множина типів ВЗВТ, що використовується при визначенні кількості замовлень на ВЗВТ  $j$ -го типу;

$M_j; j = \overline{1, m}$  – множина видів зразків ОБТ, що використовується при визначенні кількості замовлень на ВЗВТ  $j$ -го типу;

$\varepsilon_j; j = \overline{1, m}$  – випадкова складова, яка враховує вплив невизначених та випадкових факторів на значення  $\gamma_j$ .

Розподіл змінних на ендегенні та екзогенні залежить від прийнятої теоретичної концепції побудови моделі [11]. Ендегенні змінні – взаємозалежні змінні, які визначаються за рівняннями системи, тобто вони є основою. Їх кількість дорівнює кількості рівнянь системи, що описує процес прогнозування. Екзогенні змінні – незалежні змінні, які визначаються зовнішніми чинниками. В нашому випадку в якості екзогенних змінних слід розглядати обсяги зразків ОБТ різних видів, кількість яких впливає на кількість замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ, тобто впливає на ендегенні змінні. Крім того, можлива залежність кількості замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ інших типів враховується формою запису відповідних рівнянь. Одні і ті

ж ендегенні змінні у деяких рівняннях входять в ліву частину, а інші – в праву частину.

Достовірність тієї чи іншої економетричної моделі пропонується встановити у подальшому дослідженні шляхом оцінки параметрів моделі та перевірки її значущості за допомогою критерію Фішера-Енедекора та з використанням коефіцієнта детермінації, який визначає ступінь якості моделі [10–11].

Параметри системи (1)  $\beta_{jk}; \alpha_{jk}$ , котрі зазвичай називають структурними параметрами моделі, визначити за допомогою традиційного методу найменших квадратів (МНК) неможливо, оскільки у цьому випадку отримуються зміщені та необґрунтовані їх оцінки. Тому, для визначення структурних параметрів системи (1) використовують зведену форму моделі (ЗФМ), яка уявляє собою систему, що описується лінійними функціями ендегенних змінних від функцій екзогенних змінних, тобто функціями наступного виду:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \delta_{10} + \sum_{u \in M_1} \delta_{1u} \chi_u + \varepsilon'_1; \\ \gamma_2 &= \delta_{20} + \sum_{u \in M_2} \delta_{2u} \chi_u + \varepsilon'_2; \\ \gamma_j &= \delta_{j0} + \sum_{u \in M_j} \delta_{ju} \chi_u + \varepsilon'_j; \\ \gamma_m &= \delta_{m0} + \sum_{u \in M_m} \delta_{mu} \chi_u + \varepsilon'_m. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\delta_{jo}; \delta_{jn}; j = \overline{1, m}; n \in M_j$  – параметри ЗФМ;

$\varepsilon'_j; j = \overline{1, m}$  – випадкова складова, яка описує похибку щодо ендегенної змінної  $\gamma_j$ .

Для оцінки повних значень структурних параметрів системи (1) будемо застосовувати двохкроковий метод найменших квадратів (2 МНК), основна ідея якого полягає в отриманні на основі ЗФМ теоретичних значень ендегенних змінних, що знаходяться у правій частині рівнянь системи (1).

У подальшому, підставив їх значення замість фактичних значень цих змінних, необхідно застосувати звичайний МНК до системи (1). Таким чином, МНК використовується двічі: перший раз – при визначенні параметрів ЗФМ, другий раз – при визначенні структурних параметрів. Разом з тим, при цьому виникає проблема ідентифікації, а саме визначенні єдиної відповідності між ЗФМ та системою взаємозалежних рівнянь (1), з чого слідує, що не завжди структурні параметри моделі можуть бути оцінені. З позиції ідентифікованості система (1) може бути [12]:

- 1) ідентифікованою;
- 2) неідентифікованою;
- 3) неідентифікованою.

Модель (1) будемо вважати ідентифікованою, якщо кожне рівняння її ідентифіковане. Модель (1) будемо вважати неідентифікованою, якщо хоча б

одне з рівнянь системи неідентифіковане. Модель (1) будемо вважати надідентифікованою, якщо система містить хоча б одне надідентифіковане рівняння, проте рівняння системи, що залишилися є ідентифікованими. Таким чином, виконання умов ідентифікованості моделі перевіряється для кожного рівняння системи.

Необхідна умова визначення типу рівняння системи полягає в виконанні наступних лічильних правил:

1)  $N_j = D_j + 1$  – необхідна умова ідентифікації виконується для  $j$ -го рівняння системи;

2)  $N_j > D_j + 1$  –  $j$ -те неідентифіковане рівняння (модель неідентифікована);

3)  $N_j < D_j + 1$  – виконується необхідна умова над ідентифікації для  $j$ -го рівняння системи, де  $N_j$  – кількість ендогенних змінних, які входять до  $j$ -го рівняння системи;

$D_j$  – кількість екзогенних змінних, які відсутні у  $j$ -му рівнянні, але є присутніми у системі.

Таким чином, лічильне правило для  $j$ -го рівняння системи (1) має наступний вигляд:

1)  $|N_j| = n |M_j| + 1$  – необхідна умова ідентифікації виконується для  $j$ -го рівняння;

2)  $|N_j| > n |M_j| + 1$  –  $j$ -те рівняння не ідентифіковане (модель неідентифікована);

3)  $|N_j| < n |M_j| + 1$  – виконується необхідна умова на ідентифікації для  $j$ -го рівняння.

Розглянуте лічильне правило відображає необхідну, але недостатню умову ідентифікації. Тому у разі виконання необхідних умов ідентифікації для моделі, необхідно перевірити кожне з рівнянь системи на достатню умову ідентифікації.

Достатня умова ідентифікації формулюється таким чином: ранг матриці  $A_j$ , що складається із коефіцієнтів при змінних системи (ендогенних та екзогенних), які є відсутніми у  $j$ -му рівнянні, не менше кількості ендогенних змінних системи  $N$  без одиниці:

$$\text{rang} A_j \geq N - 1.$$

Наприклад, нехай в  $j$ -му рівнянні системи (1) є відсутніми змінні:  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{k_1}, x_1, x_2, \dots, x_u$ , де  $k_1 < m, u_1 < n$ . В цьому випадку достатня умова ідентифікації для  $j$ -го рівняння має вигляд:

$$\text{rang} \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k_1} & \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1u_1} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2k_1} & \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2u_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{m1} & \beta_{m2} & \dots & \beta_{mk_1} & \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mu_1} \end{vmatrix} \geq m - 1.$$

Наведені визначення і запропоновані правила визначення умов ідентифікації дозволяють запропонувати наступні етапи виконання методу найменших квадратів.

1) Складання зведеної форми моделі (2) для системи (1).

2) Визначення оцінок параметрів зведеної форми моделі за МНК.

3) Виявлення ендогенних змінних, які знаходяться у правій частині рівняння, параметри якого визначаються за 2МНК, і визначення їх розрахункових значень за відповідним рівнянням зведеної форми моделі.

4) Визначення оцінок структурних параметрів системи (1) за МНК із використанням у якості вихідних даних фактичних значень екзогенних змінних та розрахункових значень відповідних (п.3) ендогенних змінних.

## Висновки

1. В статті розглянуті необхідні та достатні умови ідентифікованості системи взаємозалежних рівнянь, яка пропонується для прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ.

2. Для оцінювання структурних параметрів системи взаємозалежних рівнянь запропонований двохкроковий метод найменших квадратів, який дозволяє отримати незміщені та обґрунтовані оцінки.

## Список літератури

1. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння Збройних Сил України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у Збройних Силах України” від 01.06.2001 № 79.
2. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України” від 14.05.2007 № 2.
3. Наказ Міністра оборони України від 18.01.2010 № 12 “Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року”
4. Імітаційна модель визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Ю.І. Кушнерук, Д.А. Філістєєв // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 1 (126). – С. 32-36.

5. Кононов В.Б. Використання інформаційних технологій для оптимізації завдань планування метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки / В.Б. Кононов Ю.І. Кушнерук, Ю.І. Шевяков // Системи управління навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. №4 (36). – С. 70-72.
6. Кононов В.Б. Метрологічне забезпечення у сфері оборони в умовах проведення антитерористичної операції / В.Б. Кононов, С.А. Копашинський, О.В. Коваль // Зб. наук. пр. ХНУПС 2017. – № 4(53). – С. 144-147.
7. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. ХНУПС. – Харків, 2017. – Вип. 1 (147). – С. 88-92.
8. Шевяков Ю.І. Метод прогнозування кількості обсягів метрологічного обслуговування військових засобів вимірювальної техніки на основі удосконалення багатоваріантних регресійних моделей / Ю.І. Шевяков // Системи управління навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. №3 (33). – С. 114-117.
9. Бурцева В.В. Математична модель прогнозування замовлень на метрологічне обслуговування військових засобів вимірювальної техніки на основі системи взаємозалежних рівнянь / В.В. Бурцева // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – Вип. № 2 (50). – С. 60-62.
10. Джонстон Дж. Эконометрические методы / Дж. Джонстон. – М.: Статистика, 1980. – 444 с.
11. Дочерти К. Введение в Эконометрику: пер. с англ. / К. Дочерти. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 465 с.
12. Фишер Ф. Проблемы идентификации в эконометрии: пер. с англ. / Ф. Фишер. – М.: Статистика, 1987. – 233 с.

## References

1. The order of the Deputy Minister of Defense of the Armed Forces – Chief of Arms of the Armed Forces of Ukraine (from 01.06.2001), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z orhanizatsii ta poriadku ekspluatatsii vymiruvальної техніки u Zbroinyx Sulax Ukrainy” [On Approval of the Manual on the Organization and Procedure for the Operation of Measuring equipment of the Air Force of Ukraine], No 79.
2. The order of the Central Department of Metrology and Standardization (from 14.05.2007), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z orhanizatsii vyvobnuchoi diialnosti viiskovykh metrolohichnykh laboratorii v Ministerstvi oborony Ukrainy ta Zbroinyx Sulax Ukrainy” [On approval of the Manual for the organization of production activities of military metrology laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine], No 2.
3. The order of the Minister of Defense of Ukraine (from 18.01.2010) “Pro zatverdzhennia Kontseptsii rozvytku systemy metrolohichnoho zabezpechennia u sferi oborony na period do 2015 roku ta na perspektyvu do 2025 roku” [About approval of the Concept for the Development of the metrological support system in the field of defense for the period up to 2015 and for the perspective up to 2025], No 12.
4. Kononov, V.B., Shevyakov, U.I., Kushneruk, U.I. and Filisteev, D.A. (2015), “Imitatsiina model vyznachennia optymalnogo planu rozpodilu i vidpovidnykh optymalnykh marshrutiv ruxu vuznykh metrolohichnykh grup” [The simulation model for determining the optimal distribution plan and corresponding optimal driving directions for outgoing metrological groups], *Information Processing Systems*, No. 1(126), pp. 32-36.
5. Kononov, V.B., Kushneruk, U.I. and Shevyakov, U.I., (2015), “Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii dlia optymizatsii zavdan planuvannia metrolohichnoho obsluhovuvannia zrazkiv ozbroennicia ta viiskovoi tekhniki” [Using of information technologies for optimization tasks of planning of metrological maintenance of samples of armament and military equipment], *Systems of management of navigation and connection*, No. 4(36), pp.70-72.
6. Kononov, V.B., Kopashynskiy, S.A. and Koval, O.V., (2017) “Metrolohichne zabezpechennia u sferi oborony v umovakh provedennia antyterrorystychnoi operatsii” [Metrological support in the field of defense in the context of the antiterrorist operation], *Col. of scien. w. KNAFU*, No. 4(53), pp. 144-147.
7. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V., (2017) “Matematychni modeli vyznachennia kilkosti zamovlen na harantovane metrolohichne obsluhovuvannia zrazkiv ozbroennicia ta viiskovoi tekhniki z urakhuvanniam yikh vazhlyvosti Systemy obrobky informatsii” [Mathematical models for determination of the number of orders for guaranteed metrological maintenance of weapons and military equipment samples taking into account their importance of Information processing systems], *Col. of scien. w. KNAFU*, No. 1 (147), pp. 88-92.
8. Shevyakov, U.I. (2016), “Metod prohnozuvannia kilkosti obsiahiv metrolohichnoho obsluhovuvannia viiskovoi zasobiv vymiruvальної техніки na osnovi udoskonalennia bahatofaktornykh rehresiinykh modelei” [A method of prognostication of amount of volumes of metrology maintenance of soldiery facilities of measuring technique is on the basis of improvement of multivariable regressive models], *Systems of management of navigation and connection*, No. 3 (33), pp. 114-117.
9. Burtseva, V.V. (2017), “Matematychna model prohnozuvannia zamovlen na metrolohichne obsluhovuvannia viiskovykh zasobiv vymiruvальної техніки na osnovi sistemi vzaemozaleznykh rivnian” [Mathematical model of forecasting an order at metrology maintenance of military measuring equipment based on system of interdependent equations], *Systems of Arms and Military Equipment*, No 2 (50). pp. 60-62.
10. Dzhonston, Dzh. (1980), “*Ekonometricheskie metodu*” [*Econometric methods*], Statistics, Moscow, 444 p.
11. Doucherti, K. (2009), “*Vvedenie v Ekonometriku*” [*Introduction to the Econometrics*], Finance and Statistics, 465 p.
12. Fisher, Sh. (1987) “*Problemu identifikatsii v ekonometrii*” [*Problems of identification in econometrics*], Statistics, 233 p.

Надійшла до редколегії 27.09.2017

Схвалена до друку 2.11.2017

**Відомості про авторів:**

**Кононов Володимир Борисович**  
 доктор технічних наук професор  
 начальник кафедри  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>  
 e-mail: aveprofessor@gmail.com

**Бурцева Вікторія Валеріївна**  
 інженер Метрологічного Центру  
 військових еталонів,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1867-4615>  
 e-mail: vika.burtseva.1993@ukr.net

**Information about the authors:**

**Vladimir Kononov**  
 Doctor of Technical Science Professor,  
 Chief of the Department  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>  
 e-mail: aveprofessor@gmail.com

**Viktoria Burtseva**  
 Engineer of Metrology Center of military  
 standards of Ukrainian Armed Forces,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1867-4615>  
 e-mail: vika.burtseva.1993@ukr.net

**МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАКАЗОВ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ  
 ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
 НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ УРАВНЕНИЙ**

В.Б. Кононов, В.В. Бурцева

*В статье предложен метод прогнозирования заказов на метрологическое обслуживание военных средств измерительной техники (ВСИТ) образцов вооружения и военной техники. Прогнозирование количества заказов на метрологическое обслуживание ВСИТ является важным условием эффективного планирования метрологического обслуживания образцов ВЗВТ основаны на использовании многофакторных регрессионных моделей. Но в них не учитывались вопросы возможной взаимозависимости эндогенных переменных, которые используются при моделировании заданий прогнозу и которые влияют на объем заказов на метрологическое обслуживание ВСИТ разных типов. Для решения такого задания разработана математическая модель прогнозирования заказов на метрологическое обслуживание ВСИТ образцов ОБТ на основе системы взаимосвязанных уравнений, в которых эндогенные переменные (количество заказов) зависят как от значений факторов (количество образцов ОБТ), которые оснащены соответствующими типами ВЗВТ, так и от значений количества заказов – других эндогенных переменных. Но для применения модели нужно проводить оценивание ее структурных параметров. В статье рассмотрены необходимые и достаточные условия идентифицируемости системы взаимосвязанных уравнений, которая предлагается для прогнозирования заказов на метрологическое обслуживание ВЗВТ образцов ОБТ и предложен двухшаговый метод наименьших квадратов, который позволяет получить несмещенные и обоснованные оценки для оценивания структурных параметров системы взаимосвязанных уравнений.*

**Ключевые слова:** метод прогнозирования, метрологическое обслуживание, средства измерительной техники, заказа на метрологическое обслуживание, вооружение и военная техника.

**METHOD OF FORECASTING ORDERS ON METROLOGICAL SERVICE  
 OF MILITARY MEASURING MEASUREMENTS BASED  
 ON THE SYSTEM OF INTERRELATED EQUATIONS**

V. Kononov, V. Burtseva

*The article proposes a method for forecasting orders for metrological service of military facilities of measuring technique, (MFMT) of samples of weapons and military equipment. Forecasting the number of orders for metrological maintenance of MFMT is an important condition for effective planning of metrological services. Existing methods for predicting the need for metrological maintenance of MFMT samples are based on the use of multi-factor regression models. But they did not take into account the question of the possible interdependence of endogenous variables used in the simulation of prediction tasks and which affect the volume of orders for metrological service of various types of MFMT. To solve that problem, a mathematical model for predicting orders for metrological service of the MFMT of armament and military technique (AMT) samples based on a system of interdependent equations is developed, in which endogenous variables (the number of orders) depend on the values of factors (the number of samples AMT) that are equipped with the corresponding types of MFMT, and on the values number of orders - other endogenous variables. For the application of the model need to evaluate its structural parameters. The article considers the necessary and sufficient conditions for the identification of a system of interdependent equations, which is proposed for forecasting orders for metrological maintenance of the MFMT of AMT samples, and a two-step method of least squares is proposed, which allows obtaining unbiased and substantiated estimates for the evaluation of the structural parameters of a system of interdependent equations.*

**Keywords:** method of prognostication, metrological service, facilities of measuring technique, order on metrology service, armament and military technique.