

УДК 623.374

В.П. Коцюба<sup>1</sup>, О.М. Башкиров<sup>2</sup>, М.В. Сорока<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup>ЦНДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В роботі приведена методика постановки та вирішення задачі оцінки ефективності системи забезпечення управління виду Збройних Сил України з врахуванням техніко-економічних обмежень. На основі її вирішення пропонується оцінювати раціональність розподілу засобів зв'язку за вузлами зв'язку та обґрунтовувати пропозиції по удосконаленню систем, мереж та напрямків зв'язку.

**Ключові слова:** ефективність, витрати, розподіл ресурсів, система зв'язку, функція оптимізації, сумарний ефект.

### Вступ

В умовах недостатнього фінансування витрат на національну оборону взагалі, витрати на утримання Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України та їх розвиток, зокрема, повинні відповідати, з одного боку, воєнно-економічним, технічним і мобілізаційним можливостям країни, а з іншого – потребам і можливостям забезпечення її військової безпеки [1 – 3]. Тому вкрай необхідно найбільш раціонально розподілити обмежені ресурси та направити їх на більш ефективні заходи підтримання боєздатності військ або на удосконалення озброєння та військової техніки (ОВТ) [4]. Оптимізація системи управління Повітряних сил ЗС України в зв'язку з існуючими складнощами її побудови та функціонування – достатньо важке і трудомістке завдання. Його вирішення в сучасних умовах можливо тільки на основі економіко-математичного моделювання процесів та широкого використання сучасної комп'ютерної техніки. Ефективність системи забезпечення управління ПС ЗС України суттєво впливає на формування їх боєздатності та боєготовності, виступає одним з важливих чинників поліпшення їх якісних показників. Ця проблема розглядалася у різних джерелах [5 – 7], проте потребує подальшого розвитку та узагальнення. Для бойових систем оцінка їх ефективності вирішується з використанням відомого науково обґрунтованого підходу: чим більшими можливостями володіють бойові системи, тим більше користі від їх застосування та розвитку. Для оцінки ефективності бойових систем частіше за все використовують або збільшення втрат противника або зменшення втрат своїх військ. Для систем та засобів забезпечення ця залежність не є настільки явною, їх розвиток може забезпечувати, наприклад, зручність роботи без збільшення втрат противника. У даний час не існує математичних моделей і методик, що дозволяють визначати склади угруповань військ (сил), виходячи з необхідної ефективності операцій, що обумовлено відсутністю науково об-

ґрунтованих вимог та критеріїв ефективності операцій і розв'язуваних у їхніх рамках оперативних (бойових) завдань. Внаслідок цього існуючі моделі і методики [8, 9] дозволяють оцінювати ефективність операцій, виходячи з результатів лише реально виконаних обсягів завдань створеними угрупованнями військ (сил). Тому дуже важливими стають питання воєнно-економічного аналізу систем забезпечення бойового застосування ПС ЗС України, зокрема.

### 1. Постановка та вирішення задачі

Для оцінки ефективності забезпечення системи управління ПС ЗС України спочатку слід оцінити загальні витрати на створення, організацію та функціонування системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення (РТЗ), а також на автоматизовані та інформаційні системи (А та ІС). Будемо їх оцінювати, враховуючи наступні основні складові:

1. Витрати, які пов'язані з переміщенням військ, що забезпечують управління, до місця бойових дій та розгортанням системи зв'язку, РТЗ та автоматизацію управління (АУ) на новому місці (за необхідністю).

2. Сукупні витрати на побудову системи зв'язку, РТЗ та АУ, в які закладена собівартість техніки, що приймає участь у воєнних діях, а також витрати на утримання особового складу.

3. Витрати на експлуатацію, ремонт та відновлення після втрат техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС в умовах ведення воєнних дій.

Витрати  $V_{Пер}$ , що пов'язані з переміщенням військ зв'язку, РТЗ, А та ІС та розгортанням системи зв'язку, РТЗ та АУ розраховуються за формулою

$$V_{Пер} = V_{Тех} + V_L,$$

де  $V_{Тех}$  – витрати на переміщення технічних засобів;  $V_L$  – витрати на переміщення особового складу.

Як вихідні дані необхідно знати, визначити або задати таку інформацію:

відстань  $S$  та спосіб переміщення (своїм ходом або транспортуванням);

вартість переміщення одного зразка техніки;  
кількість особового складу.

Кількість  $L$  особового складу, що залучається, визначається формулою

$$L = \sum_{i=1}^b L_i D_i + L_a,$$

де:  $L_a$  – кількість адміністративного складу частин зв'язку, РТЗ, А та ІС;  $L_i$  – кількість особового складу, що обслуговує  $i$ -й зразок технічних засобів;  $D_i$  – кількість одиниць даного зразка;  $b$  – кількість типів техніки.

Сукупні витрати  $V_{сз}$  на побудову системи зв'язку, РТЗ та АУ, в які закладена собівартість техніки, яка приймає участь у бойових діях, а також витрати на утримання особового складу визначаються за формулою

$$V_{сз} = V_{oc} + V_E.$$

Витрати на утримання особового складу  $V_{oc}$  розраховуються відповідно до норм:

$$V_{oc} = L q_{oc},$$

де  $L$  – кількість особового складу;  $q_{oc}$  – витрати на одну людину.

Витрати  $V_E$ , які пов'язані з експлуатацією та ремонтом техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС в умовах ведення бойових дій розраховуються за формулою:

$$V_E = W V_p,$$

де  $V_p$  – вартість одиниці трудовитрат на ремонт техніки;  $W$  – трудовитрати на усунення аварійних та бойових пошкоджень техніки.

Загальні витрати на організацію зв'язку, РТЗ, А та ІС визначаються за формулою

$$V_3 = V_{пер} + V_{сз}.$$

Розглянемо задачу розподілу обмеженої кількості ресурсів по заданому числу об'єктів. При цьому основним питанням являється питання про отримання максимального ефекту. Для рішення подібної задачі треба встановити залежність між кількістю виділених засобів і ефектом, що отриманий від них. Нехай деякий  $i$ -й засіб зв'язку при відсутності радіопротидії та вогневого ураження забезпечує ефект  $E_{jo}$ . Тоді в умовах застосування противником радіопротидії та вогневого ураження ефект зменшується і дорівнює

$$E_i = E_{jo} P_i,$$

де  $P_i$  – імовірність виконання своїх функцій  $i$ -м засобом в ході бойових дій.

Очевидно, що у випадку використання двох однотипних засобів для виконання одного й того ж завдання, ефект дорівнює

$$E_i = E_{jo} \left[ 1 - (1 - P_i)^2 \right].$$

В загальному випадку для системи зв'язку, що включає  $m$  напрямків або мереж зв'язку можна записати

$$E_1 = E_{10} \left[ 1 - (1 - P_1)^{n_1} \right], E_2 = E_{20} \left[ 1 - (1 - P_2)^{n_2} \right], \dots, \\ E_i = E_{i0} \left[ 1 - (1 - P_i)^{n_i} \right], \dots, E_m = E_{m0} \left[ 1 - (1 - P_m)^{n_m} \right], \quad (1)$$

В цих виразах  $n_1, n_2, \dots, n_i, n_m$  – кількість однотипних засобів, що виділені на напрямок (мережу) із номером  $1, 2, \dots, i, \dots, m$ .

В тому випадку, коли для виконання завдання зв'язку в  $i$ -й мережі ( $i$ -му напрямку) використовуються різні типи засоби, величина ефекту може бути визначена наступним чином

$$E_i(n) = E_{i0} \left[ 1 - \prod_{i=1}^{n_i} (1 - P_i) \right], \quad (2)$$

де  $n_i$  – кількість засобів, що використовуються в мережі (напрямку).

Загальний сумарний ефект, що забезпечує система зв'язку, можна розглядати як суму ефектів від всіх  $i$ -х мереж (напрямків)

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m E_i(n).$$

У виразах (1), (2) величини  $E_{i0}$  можуть бути безрозмірними, можуть мати значення вартості (ціни) або бути відносними. Вибір тієї або іншої розмірності для коефіцієнтів  $E_{i0}$  визначається конкретними умовами і залежить від наявності апріорної інформації про ефективність роботи  $i$ -го засобу зв'язку у складі  $n$ -го об'єкта (вузла, напрямку, мережі).

При відсутності необхідної інформації коефіцієнт  $E_{i0}$ , які по суті є ваговими коефіцієнтами, можуть бути визначені методом експертних оцінок.

На першому етапі оптимізації розподілу ресурсів по формулам (1), (2) розраховуються і будуються графіки  $E_i(n)$ , тобто залежності ефективності  $i$ -го напрямку (мережі) від кількості застосованих засобів. Отримані функції є монотонно зростаючими, тому вони досягають максимуму при  $n \rightarrow \infty$ . Тому при обмежених ресурсах потрібно знайти такі  $n$  та  $m$ , при яких  $E_{\Sigma}$  досягає максимуму.

На другому етапі в залежності від кількості використаних засобів вираховуються прирости ефективності  $\Delta E_i(n)$ . За цими розрахунками будуються відповідні таблиці. Далі розраховується кількість засобів, що виділяються на кожний об'єкт за умови, що на всі об'єкти виділяються однакова кількість засобів

$$n_{зас} = N/m = \sum_{i=1}^m n_i / m,$$

де  $N$  – загальна кількість засобів, що підлягають розподілу.

В таблиці приростів ефективності  $\Delta E_i(n)$  проводиться гранична лінія на рівні  $n_{зас}$ , а в таблиці ефективностей  $E_i(n)$  виділяється стовпчик  $E_i(n_{зас})$  і підраховується сумарна ефективність

$$E_{\Sigma}(n_{зас}) = \sum_{w=1}^{n_{зас}} n_w$$

На третьому етапі найменший приріст зліва від границі замінюється на найбільші прирости справа від границі  $(n_{зас} - 1)$  засобів, а для об'єкта з найбільшим приростом виділяється  $(n_{зас} + 1)$  засобів зв'язку.

При цьому сумарний ефект від виділення  $N$  засобів для  $m$  об'єктів визначається за формулою

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m E_i(n_{зас}) - \min \Delta E_v(n_{зас} - 1) + \max \Delta E_k(n_{зас} + 1),$$

де  $\Delta E_v$ ,  $\Delta E_k$  – відповідно найменший і найбільший приріст ефекту зліва і справа від границі розділу.

Процес перерозподілу повторюється до тих пір, поки всі мінімальні прирости для  $v$ -го об'єкта не будуть замінені на максимальні прирости  $k$ -го об'єкта, тобто всі прирости зліва повинні бути більше приростів справа. Таким чином, цільова функція процесу оптимізації має вигляд:

$$E_{\Sigma \max} = \max \left[ \sum_{s=1}^m E_s(n_{зас}) - \min \Delta E_v(n_{зас} - 1) + \max \Delta E_k(n_{зас} + 1) \right]$$

Процес розподілу засобів зв'язку по об'єктах закінчується тоді, коли будь-яке значення приросту ефекту  $\Delta E_k(n_{зас} + 1)$  буде менше будь-якого значення  $\Delta E_v(n_{зас} - 1)$ . При цьому цільова функція  $E_{\Sigma}$  приймає своє максимальне значення з усіх покладених для заданої кількості  $N$ .

## 2. Приклад використання задачі оптимізації

В якості прикладу приведений розподіл 12 засобів зв'язку по 4 об'єктах.

Нехай  $E_{10} = 3$ , а  $P_1 = 0,4$ , тоді  $E_1(n) = 3[1 - (1 - 0,4)n]$ ;  
 Далі  $E_{20} = 5$ , а  $P_2 = 0,5$ , тоді  $E_2(n) = 5[1 - (1 - 0,5)n]$ ;  
 $E_{30} = 7$ , а  $P_3 = 0,6$ , тоді  $E_3(n) = 7[1 - (1 - 0,6)n]$ ;  
 $E_{40} = 10$ , а  $P_4 = 0,3$ , тоді  $E_4(n) = 10[1 - (1 - 0,3)n]$ ;

На основі приведених даних розраховуємо табл. 1 цільової функції оптимізації і побудуємо графіки процесу розподілу і залежності ефективності від кількості засобів, які наведені на рис. 1.

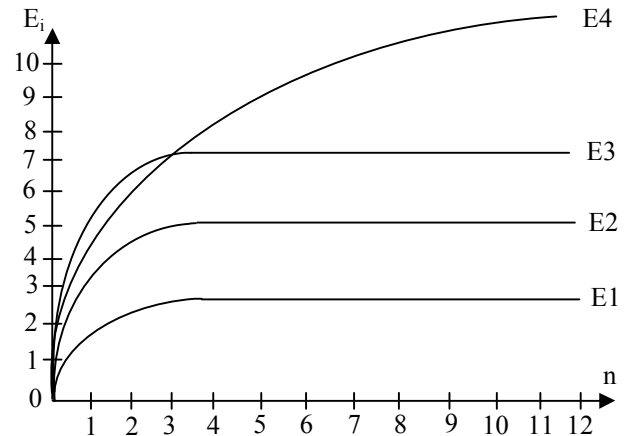


Рис. 1 Залежність ефективності  $E_i$  від кількості засобів

З рис. 1 слідує, що функції  $E_i(n)$  монотонно зростають і не мають екстремумів, тому максимум  $E_{\Sigma}$  потрібно шукати тільки в області приростів  $\delta E_i$ , для цього розраховуємо величини  $\delta E_i$  за формулою

$$\Delta E_{in} = E_i(n) - E_{i-1}(n),$$

і зведемо їх в табл. 2.

Таблиця 1

Розрахунок цільової функції оптимізації

$n \backslash E_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_1$	0	1,2	1,92	2,35	2,61	2,77	2,86	2,92	2,95	2,97	2,98	2,99	2,993
$E_2$	0	2,5	3,75	4,37	4,69	4,84	4,92	4,96	4,98	4,99	4,995	4,998	4,999
$E_3$	0	4,2	5,88	6,55	6,82	6,93	6,97	6,99	6,995	6,998	6,999	7,0	7,0
$E_4$	0	3	5,1	6,57	7,6	8,32	8,82	9,18	9,42	9,60	9,72	9,80	9,86
$E_{\Sigma}$	0	10,9	16,35	19,84	21,72	22,88	23,56	24,05	24,34	24,56	24,62	24,79	24,85

Таблиця 2

Розрахунок приростів ефективності  $\Delta E_i$

$n \backslash E_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_{1n}$	0	1,2	0,72	0,43	0,26	0,16	0,09	0,06	0,09	0,02	0,01	0,008	0,005
$E_{2n}$	0	2,5	1,25	0,62	0,32	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0,005	0,003	0,002
$E_{3n}$	0	4,2	1,68	0,67	0,27	0,11	0,04	0,02	0,005	0,003	0,002	0	0
$E_{4n}$	0	3	2,1	1,47	1,03	0,72	0,5	0,36	0,24	0,18	0,12	0,08	0,06
$nE_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Оскільки необхідно розділити 12 засобів на 4 об'єкти, то отримаємо  $n_{\text{зас}} = 3$ . При цьому  $E_8$ , що отримане з табл. 1, дорівнює 19,84. Далі звертаємось до табл. 2 та знаходимо, що при  $n = 3$  мінімальне значення буде у  $E_1$ , тобто  $\Delta E_{13} = 0,43$ . Правіше  $n_{\text{зас}} = 3$  найбільше значення приросту має  $E_4$ , тобто  $\Delta E_{44} = 1,03$ .

Таким чином,  $n_{\text{зас}} = 3$ , а  $E_8 = 19,84$ . Далі звертаємось до табл. 2 і знаходимо, що при  $n = 3$  мінімальне значення буде у  $E_1$ , тобто  $\Delta E_{13} = 0,43$ . Правіше  $n_{\text{зас}} = 3$  найбільше значення приросту має  $E_4$ , тобто  $\Delta E_{44} = 1,03$ .

Віднімаємо від першого об'єкта один засіб та передаємо його четвертому об'єкту. При цьому розподіл засобів по об'єктах має вигляд  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 3$ ,  $n_3 = 3$ ,  $n_4 = 4$ . Після цього помічаємо, що правіше нової границі є ще один приріст ( $\Delta E_{55} = 0,72$ ), який більше приростів, що розташовані лівіше нової границі. Зліва від границі вибираємо  $\Delta E_{23}$  і третій засіб, призначений для другого об'єкту, передаємо четвертому. Таким чином новий розподіл буде мати вигляд має вигляд  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 2$ ,  $n_3 = 3$ ,  $n_4 = 5$ . Тепер в табл. 2 правіше нової границі, що показана жирною лінією, немає приросту більшого, ніж зліва від границі.

Не важко помітити і пересвідчитись, що при  $N = 12$  даний розподіл забезпечує максимальне значення ефекту.

### Висновок

Результати проведеного розподілу засобів зв'язку по пунктах управління (мережах і напрямках зв'язку) вказують на те, що при відомих значеннях долі того чи іншого засобу у виконанні конкретного завдання та імовірності виконання цього завдання в бойових умовах шляхом вибору найбільших значень приросту ефекту визначається опти-

мальна кількість засобів для отримання максимального значення сумарного ефекту.

### Список літератури

1. Державна програма реформування та розвитку Збройних Сил України на період до 2005 року // Військо України. – 2000. – №11-12. – С. 17-39.
2. Руснак І.С. Будівництво Повітряних Сил Збройних Сил України: питання теорії та практики / І.С. Руснак, М.П. Крюков, В.Д. Кохно // Наука і оборона. – 2005. – № 4. – С. 8-13.
3. Вакаренко А.В. Вопросы формирования и реализации программ развития вооружения и военной техники / А.В. Вакаренко, А.В. Василенко, Н.М. Никитин, А.А. Расстрьгин // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2007. – Спецвыпуск. – С. 3-7.
4. Альошин Г.В. Эффективность информационно-визуальных радиотехнических систем / Г.В. Альошин. – Х.: ХУПС, 2005. – 294 с.
5. Поривай В.О. Методика оцінки ефективності системи зв'язку та радіотехнічного забезпечення авіації / В.О. Поривай, В.І. Блаженний, Є.М. Лесковський // Тематичний збірник статей „Актуальні проблеми удосконалення підготовки та бойового застосування військ зв'язку, АСУ та РТЗ авіації” – К.: НАОУ, 2004. – С. 48-53.
6. Василенко О.В. Погляди на обґрунтування вимог до технічних показників перспективних зразків озброєння / О.В. Василенко, В.В. Зубарев // Наука і оборона. – 2007. – №4. – С. 33-34.
7. Бабій С.А. Оцінка ефективності системи зв'язку та радіотехнічного забезпечення на навчаннях / С.А. Бабій, С.В. Гуленко, Ю.П. Вансович, Є.М. Лесковський // Тематичний збірник статей за матеріалами науково-технічного семінару „Актуальні проблеми створення, застосування та експлуатації авіаційних систем”. – К.: НАОУ, 2004. – С. 34-38.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
9. Волков И.К. Исследование операций: Учеб. для вузов / И.К. Волков., Е.А. Загоруйко; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 436 с.

Надійшла до редколегії 17.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Альошин, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СИЛ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

В.П. Коцюба, А.Н. Башкиров, М.В. Сорока

В работе приведена методика постановки и решения задачи оценки эффективности системы обеспечения управления вида Вооруженных Сил Украины с учетом технико-экономических ограничений. На основании ее решения предлагается оценивать рациональность распределения средств связи на узлах связи и обосновывать предложения по совершенствованию систем, сетей и направлений связи.

**Ключевые слова:** эффективность, расходы, распределение ресурсов, система связи, функция оптимизации, суммарный эффект.

### ESTIMATION OF AIR FORCE OF UKRAINE SUPPORT CONTROL SYSTEM EFFICIENCY

V.P. Kotsuba, O.M. Bashkirov, M.V. Soroka

The method of solving the task of an estimation of Air Force of Ukraine support control system efficiency with technics and economics limitations is offered. With using this method it is offered to estimate rationality of radio equipment distribution between objects and to ground on suggestion for communication system improvement.

**Key words:** efficiency, consumption, resources distribution, communication system, optimization function, total effect.