

УДК 519.863

Шевченко В. Л., канд. техн. наук

## ОПТИМІЗАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТУ ДІЯЛЬНОСТІ ВЗАЄМОДІЮЧИХ СТРУКТУРНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

Національний науково-дослідний центр оборонних технологій і воєнної безпеки України

*Запропоновано метод побудови моделей ефектів діяльності організаційних структур за допомогою логістичних SL-функцій. Модифікований існуючий алгоритм завдання параметрів SL-функцій. Методом покоординатного спуску вирішена задача оптимального розподілу коштів за статтями видатків в межах одного підрозділу та оптимального розподілу коштів між декількома підрозділами. Запропонований підхід щодо моделювання динаміки розвитку ефекту організації на підставі її орграфу та моделі уніфікованого елемента.*

Економіка України переживає складний час. Брак коштів на фінансування державних структур є нагальною проблемою. Задача оптимізації розподілу обмежених коштів як всередині структур, так і між структурами є актуальною.

Моделі, що описують структури такого типу звичайно використовують велику кількість показників [1, 2], що ускладнює пошук оптимальних рішень.

З іншого боку, велика кількість змінних ховає головні тенденції розвитку і не дає перейти, в сприйнятті знайдених рішень, від формального описання до природного розуміння „фізики” процесів. Для персон, що приймають рішення, дуже важливими є прості моделі з чіткою „фізикою” процесу, яка зрозуміла на інтуїтивному рівні, з одного боку, та дозволяє вирішувати проблеми розподілу видатків на утримання підпорядкованих підрозділів, з другого.

Одним з ключових понять в задачі оптимізації розподілу коштів є поняття ефективності, як відношення ефекту до видатків. Ефект комерційних або виробничих структур може бути виражений через показники прибутку, обсяг та вартість вироблених матеріальних коштовностей.

Але актуальним залишається питання, щодо оцінки ефекту тих державних структур, результати діяльності яких неможливо вимірювати в ресурсно-грошових одиницях, наприклад, результатом діяльності яких є рівень безпеки. Серед них слід окремо виділяти такі, ефект діяльності яких суттєво залежить від періодичних тренувальних навчань, напри-

клад, підрозділів пов'язаних з рятувальними або охоронними роботами.

Існуючі математичні підходи до побудови подібних моделей, як правило, вимагають певного обсягу статистичних даних за тривалий час [3, 4]. Але в будь-якому разі наявна статистика не охоплює всі можливі співвідношення параметрів. В результаті отримані регресійні рівняння працездатні лише в деякій околиці статистичних даних.

Метою роботи є розробка методів моделювання ефекту діяльності державних структур, ефект яких не може бути визначеним в ресурсно-грошовому вигляді, розробка підходів до оптимізації розподілу видатків означених структур.

Організаційна структура складається з підрозділів, зв'язки між якими задамо за допомогою орграфу (рис. 1).

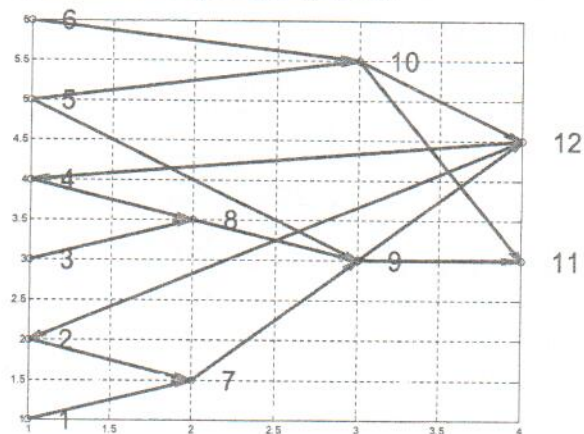


Рис. 1. Структура організації у вигляді орграфу

На входи структурних підрозділів поступають певні ресурси у вигляді грошів та результуючих ефектів діяльності

підпорядкованих структур. На виході структурного елемента маємо ефект від його діяльності. Функцію ефекту діяльності окремого елемента можна представити у вигляді добутку логістичних  $SL$ -функцій [5]

$$Ef_i = SL_{pers}(m_{pers}) \cdot SL_{tr}(m_{tr}) \cdot SL_{eq}(m_{eq}),$$

де  $SL_{pers}$ ,  $SL_{tr}$ ,  $SL_{eq}$  – функції складових ефектів, в залежності від видатків на персонал  $m_{pers}$ , тренування та навчання персоналу  $m_{tr}$ , поточне технічне та інші види забезпечення  $m_{eq}$  (рис. 2).

Величиною ефекту  $Ef(m) = 1$  вважаємо таку, при якій відповідно вимог нормативних документів підрозділ є повністю готовим до виконання завдань за основними напрямками своєї діяльності. Сумарною величиною фінансування підрозділу  $m_i^{norm} = 1$  вважаємо таку мінімальну величину, яка відповідно діючих нормативів мала би забезпечити рівень ефекту  $Ef(m_i^{norm}) \geq 1$ .

Залежність  $SL_{pers}$  визначена в припущенні, що видатки на персонал пропорційні укомплектованості підрозділу. Але залежність буде мати якісно аналогічний вигляд і в тому випадку, якщо укомплектованість повна, але грошова винагорода співробітників змінюється пропорційно  $m_{pers}$  [6]. В [5] описаний алгоритм послідовного визначення параметрів  $d$ ,  $a$ ,  $\Delta m$ ,  $T$  для логістичних  $SL$ -функцій, що задані у вигляді

$$Ef(m) = d + \frac{a}{1 + e^{-\frac{2}{T}(m - \Delta m)}}.$$

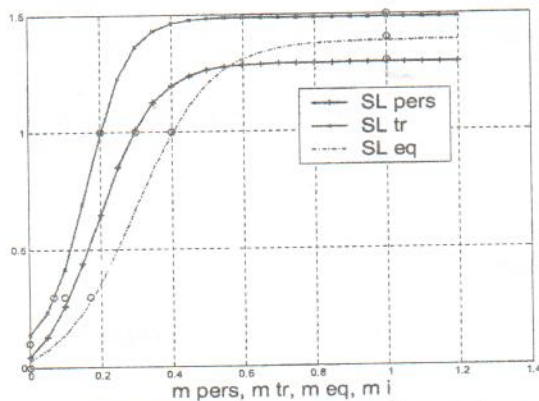


Рис. 2. Залежності складових ефекту діяльності підрозділу від фінансування за основними статтями видатків окремо

В результаті відповідного моделювання та аналізу емпіричних даних щодо ефектів діяльності структурних підрозділів виявлено, що реалізація алгоритму визначення параметрів стає більш зручною та оперативною, якщо замінити період  $T$  на тангенс кута нахилу кривої  $k$  в околиці точки симетрії та задати відповідну  $SL$ -функцію у вигляді

$$Ef(m) = d + \frac{a}{1 + e^{-\frac{k}{a}(m - \Delta m)}}. \quad (1)$$

При цьому порядок визначення параметрів  $d$ ,  $a$ ,  $\Delta m$ ,  $k$  стає довільним. Для оперативного знаходження параметрів рекомендується починати з емпіричного (експертного) визначення значень функцій в характерних точках.

$$d \approx Ef(m_0), \text{ де } m_0 = 0.$$

$$a \approx Ef(m_3), \text{ де } m_3 = 1 - 1.5.$$

Потім рекомендується визначити аргументи, при яких ефект дорівнює певним характерним величинам:

$Ef_1 = 0.15 - 0.2$  – мінімально припустимому рівню життєспроможності підрозділу, тобто рівню, після якого підрозділу вже не треба боротися за виживання або відродження, можна перейти до нормального функціонування та залежність ефекту від вхідних ресурсів приймає лінійний характер;

$Ef_2 = 0.6 - 0.7$  – мінімальному рівню при якому можна вважати що підрозділ вже сформувався та діє як цілісний організм, що самостабілізується.

Рівні  $Ef_1$ ,  $Ef_2$  в кожному конкретному випадку визначаються окремо. Інші параметри, знаходимо з:

$$k = \frac{Ef_2 - Ef_1}{m_2 - m_1}, \quad Ef_{1/2} = d + 0.5 \cdot a,$$

$$\Delta m = m_1 + \frac{Ef_{1/2} - Ef_1}{k}.$$

Знайдені величини  $d$ ,  $a$ ,  $\Delta m$ ,  $k$  можна використати для побудови приблизних моделей, але рекомендується використовувати їх в якості першого наближення в ітераційній процедурі уточнення параметрів, наприклад, за допомогою прямих варіаційних методів за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення.

Після визначення параметрів відповідних залежностей можна переходити до оптимального розподілу коштів за основними напрямками видатків підрозділу. Для спрощення порівняння результатів в подальших викладках під змінними величин видатків  $m_{pers}$ ,  $m_{tr}$ ,  $m_{eq}$  розуміємо величини, що є нормованими відносно  $m_i^{norm}$  таким чином, що

$$m_{pers} + m_{tr} + m_{eq} = m_i = 1,$$

де  $m_i$  – сумарне фінансування підрозділу.

При невдалому розподілі коштів (наприклад, якщо майже всі гроші витрачені на персонал, та непропорційно мало витрачено на тренування та технічне забезпечення), ефект діяльності підрозділу буде незадовільно низьким.

Припустимо, що  $m_i = 1$ , тоді  $Ef_i(m_{pers}, m_{tr})$  з урахуванням  $m_{eq} = 1 - m_{pers} + m_{tr}$  прийме вигляд (рис. 3). Аналогічний якісний характер  $Ef_i(m_{pers}, m_{tr})$  має при  $m_i \neq 1$ .

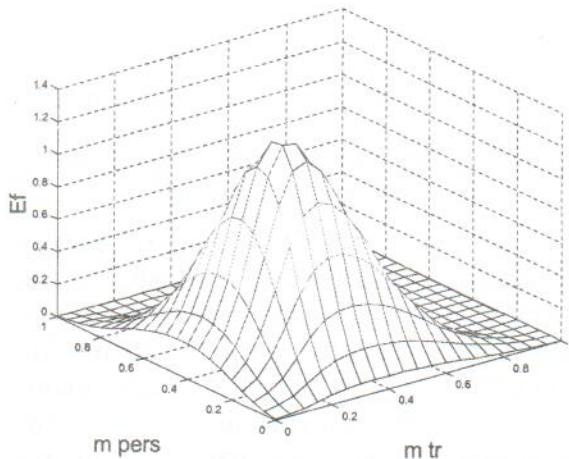


Рис. 3. Залежність ефекту підрозділу від витрат на персонал та його тренування.

При умові оптимального розподілу коштів між  $m_{pers}$ ,  $m_{tr}$ ,  $m_{eq}$  залежність  $Ef_i(m_i)$  має якісний характер, наближений до  $SL$ -функції (рис. 4), що дозволяє використовувати відповідну апроксимацію  $Ef_i(m_i) \approx SL_i(m_i)$  при моделюванні складних організаційних структур.

Для кожної величини фінансування підрозділу  $m_i$  існує оптимальне співвідношення видатків, при якому досягається глобальний екстремум. Цей результат можливо передбачити інтуїтивно, але са-

ме це часто приводить до помилкового враження, що аналогічний якісний характер в умовах недостатнього фінансування буде мати залежність ефектів для декількох підрозділів, що працюють на загальний сумарний ефект  $Ef_{\Sigma} = \sum_{i=1,n} Ef_i(m_i)$ .

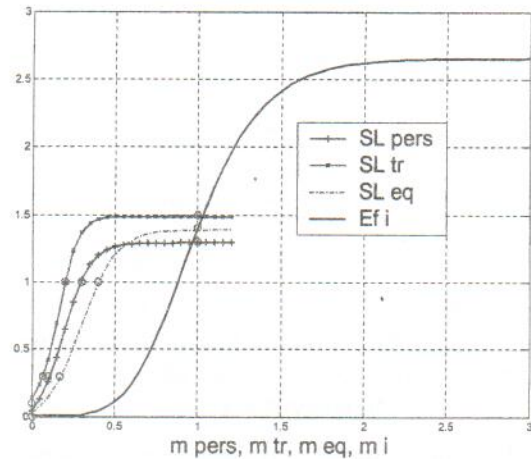


Рис. 4. Залежність ефекту підрозділу та його складових від обсягів фінансування

Розглянемо залежність сумарного ефекту діяльності трьох підрозділів, для нормального функціонування яких потрібне фінансування в розмірі  $m_{\Sigma} = m_1 + m_2 + m_3 = 3$  нормованих одиниць фінансування, але в дійсності виділена тільки  $m_{\Sigma} = 1$ . Припустимо, що загальні суми фінансування підрозділів  $m_1, m_2, m_3$  розподіляються за основними статтями видатків оптимальним чином так, як це було розглянуто вище. Тоді при умові  $m_3 = 1 - m_1 + m_2$  залежність  $Ef_{\Sigma}(m_1, m_2)$  прийме вигляд (рис. 5).

Як свідчать результати моделювання, найбільший сумарний ефект ( $Ef \approx 1.4$ ) досягається в трьох випадках: якщо всі гроші витратить перший, другий або третій підрозділ. Будь який розподіл коштів між підрозділами в умовах суттєвого недофінансування значно знижує сумарний ефект діяльності підрозділів. Наприклад, якщо поділити гроші між двома підрозділами у відношенні 50:50%, то сумарний ефект підрозділів досягне рівня  $Ef \approx 0.2$ , а якщо поділити порівну між трьома підрозділами, то  $Ef \approx 0.07$ . Логістичний характер залежностей  $Ef(m)$  призводить до того, що більш доцільно фінансувати ме-

ншу кількість підрозділів, але в повному обсязі, ніж неповноцінно фінансувати множину підрозділів.

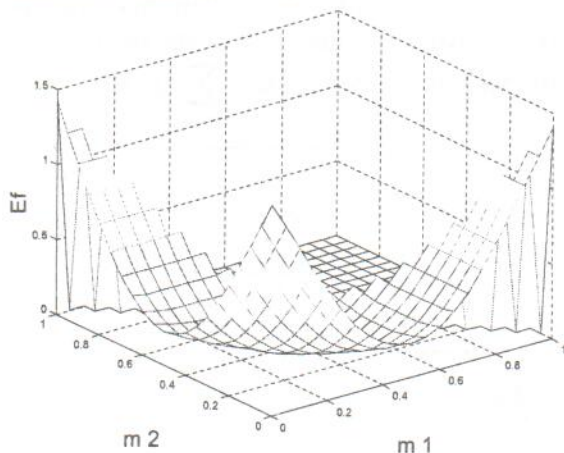


Рис. 5. Залежність сумарного ефекту діяльності трьох підрозділів в умовах обмеженого фінансування

Неповноцінне, з точки зору ефекту, фінансування припустиме лише при постановці задачі на збереження ядра підрозділу, з якого в майбутньому відбудеться відродження підрозділу.

Для досліджень цього питання додамо до розглянутої постановки задачі додаткове обмеження: зберегти життєспроможність всіх підрозділів, навіть тих, що сьогодні не дають будь-якого позитивного ефекту. Тобто, „пережити важкий час”, зберегти матеріальні засоби, зв'язки з інфраструктурою та необхідний мінімум організаційного ядра, який дозволить при нормальному фінансуванні оперативно відродити підрозділ, а не будувати його з нуля.

За експертними оцінками обмеження „забезпечення життєспроможності” дорівнюють  $m_{pers} > 0.05 - 0.1$ ,  $m_{tr} > 0 - 0.05$ ,  $m_{eq} > 0.05 - 0.1$ . Або  $m_i < 0.1 - 0.25$  за підрозділ у цілому. Якщо, наприклад, припустити обмеження на нижчому рівні, то відатки на „збереження” двох підрозділів складуть  $m_1 + m_2 = 0.2$  при сумарному ефекті  $Ef_1 + Ef_2 \approx 0$ . Ефект третього підрозділу складе  $Ef_3(0.8) \approx 0.75 - 0.8$  (рис. 4).

#### Про чисельну процедуру.

Для всіх вищевикладених залежностей знаходження оптимальних величини проводилося в два етапи:

#### 1. Перше наближення:

Для параметрів  $SL$ -функцій – аналітично.

Для інших залежностей – методом прямого перебору з великим шагом для грубого визначення району знаходження глобального екстремуму.

#### 2. Уточнення – в обох випадках методом покоординатного спуску.

Завдяки досить гладкому вигляду функцій, що досліджувалися, процес пошуку мав абсолютне сходження при низьких вимогах до обчислювальних ресурсів (рис. 6).

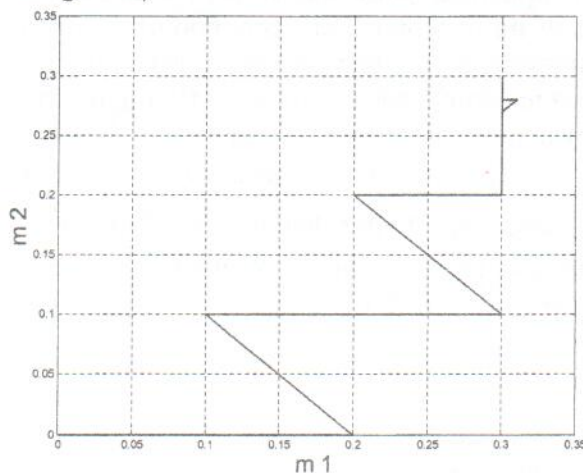


Рис. 6. Траекторія пошуку екстремуму шляхом покоординатного спуску

Проаналізовані залежності ефекту від фінансування повністю підходять для структурних підрозділів нижчого рівня. Для підрозділів вищого рівня ієрархії на вхід має поступати як фінансування цього підрозділу, так і ефекти діяльності підпорядкованих підрозділів (рис. 7). В цьому випадку дуже корисне нормоване (безрозмірне) представлення ефектів та рівня фінансування, саме так, яке це було зроблено вище.

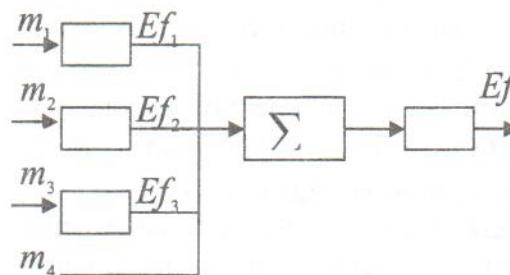


Рис. 7. Структура взаємодії керівного органу та підпорядкованих підрозділів

Для спрощення математичного описання складної організаційної структури припустимо, що всі елементи структури описуються типовим уніфікованим образом. Опишемо основні властивості уніфікованого елемента та способу його взаємодії з іншими елементами.

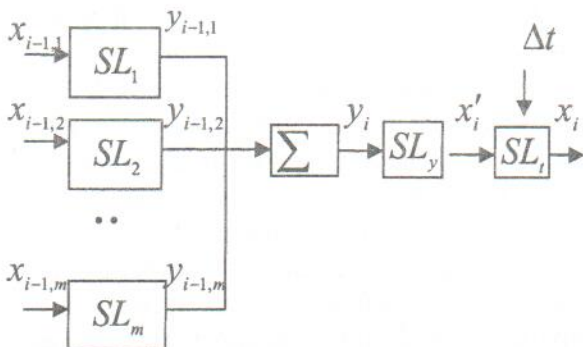
1. Стан  $i$ -ого елемента характеризується змінною його стану  $x_i$ .

2. Якщо на вхід суматора якогось елемента приходять декілька станів  $x_1, \dots, x_j$  відповідних елементів, то кожен з них поступає на вхід суматора зі своїм масштабним коефіцієнтом.

3. При будь-якому наростанні вхідних станів зростання вихідного стану елемента обмежено його фізичними можливостями і не перевищує певної величини.

4. Будь які вхідні стани не призводять до миттєвого зростання вихідного стану. Тобто існують певні динамічні затримки зміни вихідного стану елемента.

З урахуванням попередніх моделей структури (рис. 7) та викладених властивостей, модель уніфікованого елемента представимо у вигляді (рис. 8), де  $x_{i-1}$  – вхідні,  $x_i$  – вихідні змінні. Всі інші змінні –



внутрішні і можуть не мати зрозумілого фізичного сенсу.

Рис. 8. Уніфікований елемент моделі організаційної структури

Змінні стану підпорядкованих елементів  $x_{i-1,j}$ ,  $j = 1, m$  поступають на входи уніфікованого елемента.

Функції  $SL_j$ ,  $j = 1, m$  забезпечують завдання необхідного масштабного коефіцієнту за кожним входом та затримку часу, необхідну на проходження сигналу.

Параметри функцій  $SL_y$  та  $SL_i$  узгоджені таким чином, що  $a_y = a_i$ ,  $d_y = d_i$ .  $SL_y$  – визначає, якого рівня має досягнути вихідна величина відповідно до величини внутрішньої змінної

$$y_i = \sum_{j=1,m} SL_j(x_{i-1,j}), \quad j = 1, m.$$

$SL_i$  – визначає, наскільки це можливо за той час, що ми маємо.

Величина вихідного стану елемента, що планується, знаходиться як

$$x'_i = SL_{y_i}(y_i).$$

Для досягнення  $x'_i$  необхідний певний час. Для його визначення встановимо зв'язок між аргументами функцій  $SL_y$  та  $SL_i$  (рис. 9). Для цього запишемо (1) у вигляді

$$\frac{a}{x-d} - 1 = e^{-\frac{a \cdot k}{a} \cdot (y - \Delta y)}.$$

Оскільки  $a_y = a_i$ ,  $d_y = d_i$ , то справедливо

$$k_y(y - \Delta y) = k_i(t - \Delta t);$$

$$t = \Delta t + \frac{k_y}{k_i}(y - \Delta y). \quad (2)$$

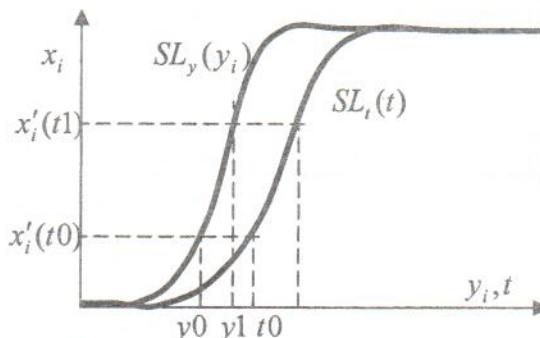


Рис. 9. Узгоджені залежності вихідного ефекту уніфікованого елемента від часу та внутрішніх змінних

Далі, для звісних  $y_i$  на попередньому  $y_0 = y_i(t_0)$  та поточному  $y_1 = y_i(t_1)$  кроках моделювання за допомогою (2) знаходимо величини часу  $t_0$ ,  $t_1$ . Якщо  $t_1 - t_0$  не перевищує кроку інтегрування  $\Delta t_i$ , то  $x_i = x'_i$ , інакше  $x_i = SL_{y_i}(t_2 + \Delta t_i)$ .

Описана процедура дозволяє задати для кожного елемента структури (рис. 1) відповідні функції поведінки уніфікованих елементів та провести моделювання поведінки системи в часі.

Перевагою підходу є те, що вихідні змінні стану кожного з уніфікованих елементів структури можуть розраховуватися незалежно один від одного, оскільки всі зміни вихідних сигналів передаються на відповідні входи пов'язаних елементів лише на наступному кроці інтегрування. Управління балансом між точністю та оперативністю моделювання виконується кроком інтегрування  $\Delta t_i$ .

Моделювання динаміки стану структури (рис. 1) при кроці інтегрування  $\Delta t_i = 0.01$  для періодичної зміни стану входів 1 та 6 (рис. 10) виявило високу важливість динамічних характеристик структурних елементів та динаміки зв'язків між ними. Що вимагає відповідного врахування динаміки структурних елементів при пошуку оптимальних рішень для розглянутих вище постановок задач.

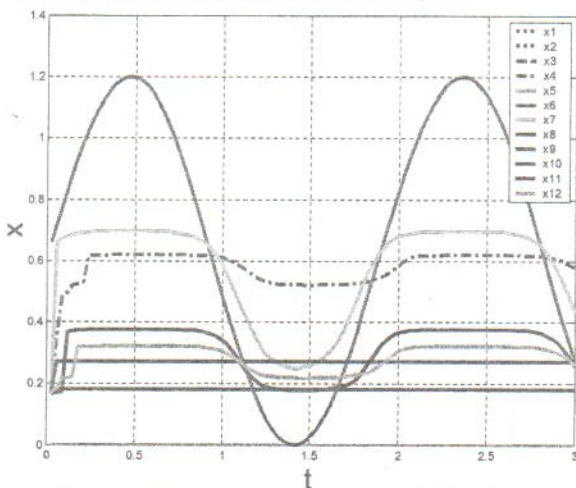


Рис. 10. Динаміка зміни стану окремих елементів організаційної структури

Таким чином, в роботі запропонований підхід до завдання функції ефекту від рівня фінансування структурних підрозділів в складі складної організаційної структури, ефект діяльності якої не може бути виражений в ресурсно-грошовому обчисленні. Знайдені оптимальні рішення щодо розподілу коштів на окремі статті фінансування підрозділів та щодо розподілу коштів між декількома підрозділами, що працюють на сумарний ефект. Виявлені зміни в картині оптимального рішення у випадку додаткових вимог щодо встановлення мінімально можливих рівнів фінансування підрозділів. Перелічені

рішення відповідають статичній постановці задачі. Для вирішення задачі в динамічній постановці запропонована модель уніфікованого структурного елементу складної організаційної структури та виконане тестове моделювання динаміки поведінки організаційної структури.

У подальшому доцільно сформулювати та вирішити задачу оптимізації розподілу коштів та управління грошовими потоками у динамічній постановці.

### Список літератури

1. *Облік оборонних ресурсів за допомогою формуляра військової частини. Частина 1. Методики опрацювання формуляра.* Монографія /В.Л. Шевченко, Є.Ф. Шелест, Р.М. Федоренко та ін. /За ред. Є.Ф. Шелеста, В.Л. Шевченка. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, ГШ ЗС України, 2003. – 160 с.

2. *Комп'ютерна модель управління оборонними ресурсами "DRMM": сучасний стан та перспективи розвитку.* Монографія / за ред. В.Л. Шевченка. – ГУ ОС та ОМР ГШ ЗС України, ННДЦ ОТ і ВБ України, 2004. – 218 с.

3. *Секторальні моделі прогнозування економіки України / За ред. академіка НАН України В. М. Гейця.* – К.: Фенікс, 1999. – 304 с.

4. *Подмогильный Н. В., Бидюк П. И., Коваленко И. И., Слободенюк А. В.* Информационные технологии в моделировании экономических процессов переходного периода. – К.: Такі справи, 2000. – 232 с.

5. *Шевченко В. Л.* Застосування залежностей з обмеженням зросту для спрощення побудови прогнозуючих моделей воєнно-економічних процесів // Збірник наукових праць. Вип. 4 (24) / Редкол.: Шпура М.І. (голова) та ін. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2004. – С. 102-110.

6. *Шевченко В. Л.* Врахування суб'єктивних факторів при моделюванні економічної безпеки // Зб. наук. праць. Недержавна система безпеки підприємництва як суб'єкт національної безпеки України. Спеціалізов. вип. за матер. наук.-практ. конф. 16-17 травня 2001 р.. – К.: видавництво Європейського університету, 2001. – С. 218-224.