

# Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 681.3.02

Е.М. Бовда

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ*

## РОЗПОДІЛ ІНФОРМАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПО ЗОНАМ (РІВНЯМ) ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

*В статті запропонована математична модель та розроблено алгоритм розподілу інформації по рівням інформаційно-телекомунікаційної мережі для синтезу ефективної системи управління інформаційно-телекомунікаційної мережі. Модель базується на модифікованому методі розрізання графа на задане число блоків з мінімальною зв'язністю між ними.*

**Ключові слова:** система управління, система зв'язку і автоматизації, інформаційно-телекомунікаційна мережа.

### Вступ

**Актуальність.** Система зв'язку і автоматизації (СЗА) Збройних Сил України є матеріально-технічною основою системи управління і становить собою сукупність взаємозв'язаних і узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів, ліній, станцій, підсистем (мереж) зв'язку різного призначення, які розгортаються (створюються) за єдиним замислом і планом з метою обміну інформацією, її обробки та збереження, вирішення інформаційних і розрахункових задач для забезпечення управління військами (силами), як у мирний та і у військовий часи [1]. Система зв'язку і автоматизації по сучасному це – інформаційно-телекомунікаційні мережі (ІТМ). Будь-яка система, з точки зору системного підходу, має мати відповідну систему управління, яка має на меті ефективно управляти цією системою.

Система зв'язку і автоматизації управління забезпечує виконання таких основних завдань [1]:

- обмін сигналами, командами бойового управління і оповіщення військ;
- обмін документальними повідомленнями (даними);
- ведення телефонних (відеоконференції) переговорів;
- накопичення, зберігання і обробка інформації, ефективний пошук та надання її службовим особам;
- застосування засобів автоматизації для моделювання бойових дій;
- вирішення інформаційних і розрахункових задач;
- забезпечення безпеки інформації, яка циркулює

лює в системах зв'язку і автоматизації;

– доставка бойових документів і поштових відправлень.

На сьогоднішній день управління системою зв'язку і автоматизації ЗС України здійснюється у неавтоматизованому режимі. Тому одним з перших основних кроків синтезу системи управління інформаційно-телекомунікаційних мереж є проектування конфігурації інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) на основі розподілу службової інформації, яка поступає від її елементів. Процес проектування конфігурації ІТМ у загальному вигляді може бути представлений трьома основними етапами [3]: на першому – визначаються вимоги до ІТМ, які оформляються у вигляді технічного завдання (ТЗ); на другому – синтезується ряд версій ІТМ; на третьому – вибирається одна з найкращих конфігурацій. Управління цим процесом базується на знаннях про комплекси програмно-апаратних засобів комплексування ІТМ, на знаннях про методи аналізу і синтезу ІТМ, про математичні моделі та методи оцінки якості функціонування ІТМ.

При розгортанні ІТМ насамперед виникає задача логічної структуризації системи управління мережі, яка включає розподіл по робочих вузлах мережі модулів спеціального програмного забезпечення (прикладних програм), сегментів і блоків розподілених баз даних, файлів спеціальної інформації, модулів, які зберігають загальносистемне програмне забезпечення системи управління мережі, мережевого програмного забезпечення тощо [2].

Постановку і рішення задачі логічної структуризації системи управління мережі пропонується розглядати на трьох взаємозв'язаних рівнях представ-

лення вхідних даних і їх результатів. На першому рівні розглядаються різні типи інформаційних структур і зв'язані з ними функціональні задачі. Потрібно згрупувати ці об'єкти в ряд функціональних процесів, мінімізуючи обмін даними між ними з урахуванням обмежень по сумісності і зв'язності між інформаційними структурами, а також кратності їх повторення в різних процесах.

На другому рівні аналізу підлягає множина інформаційних модулів (ІМ), якими є функціональні процеси, що сформовані на першому рівні. Потрібно розподілити (згрупувати) ІМ за робочими вузлами ІТМ, знов-таки мінімізуючи обмін даними між робочими вузлами з урахуванням обмежень по сумісності, зв'язності і кратності повторень для множини ІМ і ресурсними можливостями робочих вузлів по обслуговуванню модулів.

На третьому рівні вирішується задача сегментування логічної структури системи управління мережі. Потрібно розбити ІТМ на підмережі і в рамках останніх згрупувати робочі вузли, які отримані на другому рівні з мінімізацією обміну даними між підмережами. Суть обмежень залишається попередньою: сумісність, зв'язність, кратність повторення, але все відноситься до робочих вузлів. Обмеження на ресурсні можливості розглядаються щодо мережевого сегменту, що обслуговує деяка підмножина робочих вузлів.

**Метою статті** є створення ефективного алгоритму розподілу інформації по робочим рівням інформаційно-телекомунікаційної мережі.

### Основна частина

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Математичні моделі задач розподілу в ІТМ на усіх трьох рівнях однакові [4, 5]. Тому для визначеності в статті вирішена задача логічної структуризації другого рівня – розподілу інформаційних модулів між робочими вузлами ІТМ.

Змістовна сутність та математична постановка задачі виглядає таким чином.

#### 1. Вихідні дані:

а) множина інформаційних модулів (ІМ) –  $\{E_n\}$ , де  $n \in N = (1, 2, \dots, N)$ . Кожний ІМ характеризується потребами в ресурсах  $\{g_n\}$ , де  $n \in N = (1, 2, \dots, N)$ ;

б) для ІМ  $E_n$ ,  $n \in N$  задані три матриці:

– матриця сумісності  $D = \|d_{n1n2}\|$  з вимірністю  $N \times N$ , в якій визначаються

$$d_{n1n2} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } E_{n1} \text{ і } E_{n2} \text{ можуть} \\ & \text{розміститись в одному робочому вузлі } B_1, \\ 0, & \text{в протилежному випадку;} \end{cases} \quad (1)$$

– матриця зв'язності  $C = \|c_{n1n2}\|$  з вимірністю

$N \times N$ , в якій визначаються

$$c_{n1n2} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } E_{n1} \text{ і } E_{n2} \text{ необхідно} \\ & \text{розмістити в одному робочому вузлі } B_1, \\ 0, & \text{в протилежному випадку;} \end{cases} \quad (2)$$

– матриця інтенсивності інформаційного обміну

$$V = \|v_{n1n2}\| \quad (3)$$

з вимірністю  $N \times N$ ;

в) множина робочих вузлів (РВ) ІТМ  $\{B_l\}$ , де  $l \in (1, 2, \dots, L)$ . Кожний РВ характеризується ресурсом пам'яті  $a_l$ ,  $l = \overline{1, L}$ .

2. **Вимагається:** знайти розподіл ІМ по РВ, який би мінімізував навантаження на канали зв'язку ІТМ та задовольняв всім вхідним даним.

3. **Формалізація постановки задачі.** Необхідно знайти

$$\min \sum_{l1=l2} SV_{l1l2}, \quad (4)$$

де  $SV_{l1l2}$  – обсяг інформаційного обміну між РВ  $l_1$  і  $l_2$ . Тобто потрібно мінімізувати обмін між РВ. Враховуючи, що загальний обмін між ІМ постійний, задача мінімізації еквівалентна задачі максимізації

$$\max \sum_{l1=l2} SV_{l1l2}. \quad (5)$$

4. **Математичне вирішення задачі.** Введемо булеві змінні  $x_{nl}$ , де  $n \in N$  та  $l \in L$  такі, що

$$x_{nl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } E_{nl} \text{ розміщений в РВ } B_l, \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (6)$$

Тоді  $x_1 = (x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1})$  – варіант комплектації  $B_1$ , а матриця  $X = \|x_{nl}\|$  визначає розподіл всіх ІМ по вузлах  $B_l$ ,  $l \in L$ . Необхідно обрати таку комплектацію ІМ по вузлах, щоб не порушувалися умови сумісності, зв'язності, задовольнялись обмеження на вузли по ресурсах, і при цьому максимізувався внутрішній обмін (мінімізувався обмін між  $B_l$ ). Математична модель сформульованої задачі має вигляд

$$\max \left\{ F(x) = \sum_{i \in L} f_i(x_i) \right\}, \quad (7)$$

$$x_{nl} \sum_{n \in N} \sum_{k \in N} x_{kl} (1 - d_{nk}) = 0, \quad l \in L, \quad (8)$$

$$x_{nl} \sum_{n \in N} \sum_{k \in N} c_{kn} (1 - x_{kl}) = 0, \quad l \in L, \quad k > n, \quad (9)$$

$$\sum_{l \in L} x_{nl} \geq b_n, \quad n \in N, \quad (10)$$

$$0 < \sum_{n \in N} g_{jn} x_{nl} \leq a_j, \quad l \in L, \quad (11)$$

$$x_1 = (x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}), \quad x_{nl} \in \{0, 1\}, \quad n \in N, \quad l \in L. \quad (12)$$

При цьому

$$f_1(x_1) = \sum_{n_1 \in N} \sum_{n_2 \in N} x_{n_1 1} x_{n_2 1} V_{n_1 n_2}. \quad (13)$$

Припустимим рішенням називається матриця  $x = \|x_{nl}\|$ ,  $n \in N$ ,  $l \in L$ , елементи якої задовольняють обмеженням (8) – (12).

5. **Обмеження і припущення**, що прийняті в алгоритмі:

– матриця інтенсивності інформаційного обміну  $V$  така, що  $V_{n_1 n_2} = V_{n_2 n_1}$ ;

– нижня межа значення ресурсів пам'яті РВ одержується при звуженні множини ІМ;

– однакові ІМ в одному РВ нерентабельні.

**Розробка методу і алгоритму вирішення задачі**

Загальна схема вирішення задачі розподілу складається з наступних кроків.

1. Групуємо зв'язані згідно з умовою (8) типи елементів і звужуємо множину типів елементів. Проводимо перерахунок їх характеристик  $b_n$ ,  $g_n$ ,  $D$ ,  $V$ .

2. Знаходимо множину  $H = \{A_n\}$  попарно несумісних типів елементів з максимальною потужністю  $h = |H|$  та для кожного з  $b_n$  елементів цих типів формуємо вузол, у який розподіляємо цей елемент. Фіксуємо відповідні змінні  $x_{nl}$ . Припускаємо  $m=1$  та  $E = E / H$ .

3. Знаходимо з інших  $E$  (не розподілених) типів елементів максимальну множину  $H_m$  попарно несумісних.

4. Для типів елементів з  $H_m$ , для яких  $b_n > 0$ , знаходимо список  $L$  можливих вузлів для розподілу, не порушуючи умов (8–12) і враховуючи вже розподілені елементи. Якщо всі  $b_n = 0$ , переходимо до кроку 6.

5. Знаходимо з списків  $L_E$   $n$  по кроку 2 множину різноманітних представників, яка максимізує цільову функцію, якщо у відповідні вузли розподілити елементи типу  $E_n$ . Вважаємо  $b_n = b_n - 1$ . Реалізуємо отриманий розподіл. Переходимо до кроку 4.

6. Якщо ще є нерозподілені елементи, вважаємо  $E = E / H_m$ ,  $m = m+1$ , і переходимо до кроку 3.

Для реалізації кроку 1 розробимо процедуру аналізу та звуження множини можливих рішень.

Проведемо агрегацію задачі (7–12) з урахуванням обмежень шляхом наступних підстановок:

1) звузимо множину  $E = \{A_n\}$ ,  $n \in N$  – множину  $E = \{E_n\}$ ,  $n \in N' = (1, 2, \dots)$ ,  $n^* \in N'$  так, що  $E_n = \{A_{n_1}, E_{n_2}, \dots, E_{n_k}\}$ , для яких  $c_{n_1 n_2} = c_{n_1 n_3} = \dots = c_{n_1 n_k} = \dots = 1$ ;

2)  $g_{jn} = g_{jn_1} + g_{jn_2} + \dots + g_{jn_k}$ ;

3)  $b_n = \max \{b_{n_1}, b_{n_2}, \dots, b_{n_k}\}$ ;

$$4) d'_{n_1 n_2} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } E'_{n_1} \text{ і } E'_{n_2} \text{ можуть} \\ \text{розміститись в одному РВ } B_2, \\ 0, \text{ в протилежному випадку.} \end{cases}$$

При цьому  $E'_{n_1}$  і  $E'_{n_2}$  можуть міститися в одному

вузлі  $B_1$  в наступних випадках:

$g_{jn_1} + g_{jn_2} + \dots + g_{jn_k} \leq a_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, j_2$ ; для всіх

$E_n \in E'_{n_1}$  і для всіх  $E_k \in E'_{n_2}$  має місце  $d_{nk} = 1$ ;

$$5) V'_{n_1 n_2} = \sum \sum V_{n_1 n_2}, n_1, n_2 \in N';$$

$$n_1, n_2 \in N; E_n \in E'_{n_1}; E_k \in E'_{n_2}.$$

Таку процедуру будемо називати  $Y_1$  і та після її застосування з задачі (7–9) можна прибрати обмеження (10–11) і замінити  $E'_n, g'_{jn}, b'_n, d'_{n_1 n_2}, V'_{n_1 n_2}$  на

$$E_n, g_{jn}, b_n, d_{n_1 n_2}, V_{n_1 n_2}.$$

Для уникнення складної індексації далі просто будемо розглядати задачі (7) – (9) без врахування обмежень (10–11).

Побудова початкового допустимого рішення.

Побудова допустимого рішення задачі (7) – (12) здійснюється процедурами  $Y_2$  і  $Y_1$ , в основі яких лежать рішення наступних підзадач.

Підзадача  $A_1$  про максимальну внутрішню тривку множини (МВТМ) –  $H$  графа полягає в відшуванні найбільшого числа попарно несумісних вершин. В якості вершин в графі розглядаються елементи  $E_n$ ,  $n \in N$ , а в якості ребер – ненульові елементи  $d_{n_1 n_2}$  матриці сумісності  $D$ . В результаті рішення підзадачі  $A_1$  одержується підмножина  $H$  попарно несумісних елементів  $E_n$ ,  $n \in N$  ( $E_{n_1}, E_{n_2} \in N$ , якщо  $d_{n_1 n_2} = d_{n_2 n_1} = 0$ ).

Підзадача  $A_2$  полягає в побудові максимальної зваженої системи різноманітних представників. Для кожного елемента  $E_n \in H$  формується множина  $LE_n = \{l_1, l_2, \dots, l_{k_n}\}$ ,  $n \in N$ ,  $k_n \in I^*$ , де  $l_{k_n}$  – номер вузла  $B_{l_{k_n}}$ , у якому можливе розміщення елемента  $E_n$  без порушення обмежень (10–11).

При цьому для кожного  $l_{k_n}$  розраховується  $q_{nk} = f_{l_{k_n}}(\dots, x_{nl_{k_n}} = 1, \dots) - f_{l_{k_n}}(\dots, x_{nl_{k_n}} = 0, \dots)$  приріст цільової функції (7) при розміщенні елемента  $E_n$  у вузлі  $B_{l_{k_n}}$ .

Вимагається визначити множину  $L' = \{l_{k_n}\}$  таку, що  $|L'| = h$ ,  $l_{k_1} = l_{k_2}$  для всіх  $l_{k_1}, l_{k_2} \in L'$  та для

усіх множин  $LE_n$  існує індекс  $lk_x$ , такий, що

$$lk \in LE_n. \text{ При цьому } \max \left( \sum_{E_n \in H} g_{nk} \right), lk \in L.$$

Вирішення підзадачі  $A_2$  визначає індекси змінних  $x_{nk}$ , що в припустимому рішенні максимально близько до оптимального рішення вхідної задачі в рамках застосування процедур  $Y_2$  і  $Y_3$ , які розглядаються нижче.

Множина  $H$  одержується в результаті вирішення підзадачі  $A_1$ . Для початку роботи алгоритму вважаємо  $l^* = h$ .

Нехай  $V_x$  – множина позначених змінних, а  $P_x$  – множина закритих змінних.

Процедура  $Y_2$  полягає в побудові множин  $V$ ,  $V_x$ ,  $P_x$  і визначенні  $h$ . При цьому всі змінні  $x_{nb} \in V_x$  фіксуються, що призводить до звуження множини можливих і допустимих рішень задачі (7) – (12) ( $x_{nb} = 1$ , якщо  $E_n \in V$  та 1 приймає відповідно  $b_n$  значень, а інші дорівнюють нулю).

Процедура  $Y_3$  є ітераційною і полягає у виконанні наступних кроків.

**Крок 0.** Вважаємо  $m = 1$ ,  $E = \{E_n\} / V$ .

**Крок 1.** Вирішуємо підзадачу  $A_1$  на безлічі  $E$  з матрицею  $D$  і будуємо  $H_m$  – МВТМ ( $E, D$ ).

**Крок 2.** Будуємо  $\{LE_n\}$  і розраховуємо  $\{q_{nk}\}$  для елементів  $E_n \in H_m$  (підготовка вхідних даних для підзадачі  $A_2$ ). При цьому  $lk \in LE_n$ , якщо  $x_{nk} \in P_x$ , і  $x_{nk} \in V_x$ .

**Крок 3.** Вирішуємо підзадачу  $A_2$  на  $\{LE_n\}$  і  $\{q_{nk}\}$ . При цій сумісності задачі припускаємо  $l^* = l^* + 1$  і в кожному  $L_{en}$  додаємо індекс

$lk_{n+1} = l^*$ , знову вирішуємо підзадачу  $A_2$ . Поширюємо множину  $P_x$  згідно з визначенням 4.

**Крок 4.** Вважаємо  $E = E / H_m$  і якщо  $E = 0$ , то вважаємо  $m = m + 1$  і переходимо до кроку 1; в протилежному випадку початкове допустиме рішення  $x_{dn}$  побудоване.

Беручи до уваги кінцевість множини елементів  $E$  та в силу того, що  $h > 1$ , процедура  $Y_3$  – кінцева.

## Висновок

Таким чином, розроблений алгоритм у максимальному ступені враховує специфічні особливості задачі розподілу інформації по робочим рівням ІТМ та дозволяє ефективно вирішувати поставлену практичну задачу синтезу ІТМ.

## Список літератури

1. Проект Настанови з організації зв'язку і автоматизації управління військами Збройних Сил України, К.:МО, 2012. – 203 с.
2. Буров Є. Комп'ютерні мережі. 2-е оновлене та доповн. вид. / Є. Буров. – Львів: БаК, 2003 – 584 с., іл..
3. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. – 365 с.
4. Коробков Б.П. Методы разрезания графов на минимально связанные подграфы / Б.П. Коробков // Адаптация в вычислительных системах. – Рига: Зинатне, 1978. – 134 с.
5. Кульба В.В. О формализованном распределении множества решаемых задач между различными узлами системы управления / В.В. Кульба, А.Д. Цвиркун // Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 9. – С. 28-35.

Надійшла до редколегії 3.11.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.В. Кувшинов, Військо-вий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПО ЗОНАМ (УРОВНЯМ) ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Э.Н. Бовда

*В статье предложена математическая модель и разработан алгоритм распределения информации по уровням информационно-телекоммуникационной сети для синтеза эффективной системы управления информационно-телекоммуникационной сети. Модель базируется на модифицированном методе разрезания графа на заданное число блоков с минимальной связностью между ними.*

**Ключевые слова:** система управления, система связи и автоматизации, информационно-телекоммуникационная сеть.

## THE DISTRIBUTION INFORMATION MANAGEMENT BY ZONES (LEVELS) OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORKS

E.N. Bovda

*The article presents a mathematical model and algorithm of distribution of information levels of information and telecommunication networks for the synthesis of an effective management system and telecommunications network. The model is based on a modified method of cutting a graph into specified number of blocks with minimal connectivity between them.*

**Keywords:** control system, communication system and automation, information telecommunication network.