

В. В. Безкоровайний, Ю. О. Гордієнко, А. В. Кошель, К. К. Кулагін, О. І. Солонець

СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ОБ'ЄКТІВ ГОЛОВНОГО ЦЕНТРУ СПЕЦІАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Структурні, вартісні й функціональні характеристики розподілених систем багато в чому визначаються топологією їх підсистем та елементів, яка, у свою чергу, встановлює топологію комунікаційних зв'язків, реалізуючи обмін між елементами і підсистемами ресурсами та інформацією. Це характерно для багатьох сучасних технічних, організаційно-технічних, соціально-економічних систем.

У статті проаналізовано фактори, які визначають ефективність мережі об'єктів Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України як територіально розподіленої системи, формалізовано її структурний опис та цільове призначення. Порушено проблему оптимізації даної мережі об'єктів, яка включає комплекси задач вибору структури, топології, технології функціонування, параметрів елементів і зв'язків, всебічного оцінювання та вибору варіантів на різних етапах її життєвого циклу. З'ясовано доцільність побудови методології оптимізації мережі об'єктів Головного центру спеціального контролю на ідеях агрегативно-декомпозиційного та блочно-ієрархічного підходів. Запропоновано трирівневу схему декомпозиції проблеми оптимізації мережі, що включає множини завдань її проектування, планування розвитку, адаптації та реінжинірингу. Визначено склад і схему взаємозв'язку з вхідними і вихідними даними завдань системного проектування мережі. Практичне застосування отриманих результатів для розв'язання проблеми оптимізації мережі об'єктів Головного центру спеціального контролю дозволить скоротити терміни виконання завдань проектування та планування її розвитку, зменшити витрати на її модернізацію або реінжиніринг, а за рахунок спільного вирішення завдань – підвищити якість рішень та на цій основі покращити функціональні характеристики мережі. Методологія системологічного аналізу проблеми оптимізації територіально розподілених об'єктів може загалом бути використана для проектування будь-яких інформаційних систем, розподілених систем обслуговування і великомасштабного моніторингу.

Ключові слова: мережа; оптимізація; реінжиніринг; спеціальний контроль.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Процеси проектування, реорганізації, планування розвитку або реінжинірингу систем моніторингу великомасштабних об'єктів, до яких належить мережа об'єктів (пунктів спостереження) Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) на території України, неминуче супроводжуються завданнями оптимізації структури. При цьому можуть розглядатися різні аспекти внутрішньої будови мережі ГЦСК: організаційна, топологічна (просторова), функціональна, інші види структур [1–4]. Для подібних об'єктів збільшення відстаней між функціональними підсистемами призводить до появи нової системної властивості, яка не характерна для територіально зосереджених систем. Вона пов'язана з тим, що структурні, вартісні й функціональні характеристики розподілених систем багато в чому

визначаються топологією (розміщенням) їх підсистем та елементів. Топологія підсистем і елементів, у свою чергу, визначає топологію комунікаційних зв'язків, що забезпечують функціонування мережі як єдиного цілого, реалізуючи обмін між елементами і підсистемами, ресурсами та інформацією. Це характерно для багатьох сучасних технічних, організаційно-технічних, соціально-економічних систем (інформаційно-обчислювальних мереж, мереж розподілу та збору інформації, транспортних мереж, розподілених систем обслуговування, виробничо-збутових комплексів, систем управління тощо) [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема проектування, реорганізації, планування розвитку, реінжинірингу систем моніторингу великомасштабних об'єктів присвячено роботи [6–12]. Зокрема, у [12] для мережі засобів спеціального контролю розроблено ітераційну схему логічного проектування, що ґрунтується на ідеях агрегативно-декомпозиційного підходу, системного аналізу та системного проектування складних систем. Для цього проведено аналіз особливостей мережі засобів спеціального контролю як об'єкта проектування чи реінжинірингу, виконано декомпозицію проблеми її оптимізації на сукупність взаємопов'язаних завдань, що належать до різних ієрархічних рівнів, встановлено схему взаємозв'язків виділених завдань за вхідними даними та отриманими результатами, визначено вимоги, яким повинні відповідати ефективні методи та процедури розв'язання задач оптимізації мережі.

Формулювання завдання дослідження. На основі одержаних у [12] результатів доцільно провести комплексне визначення структури, топології, параметрів та технології функціонування мережі засобів (об'єктів) ГЦСК з метою скорочення часу вирішення завдань проектування, планування розвитку чи реінжинірингу, зменшення витрат на експлуатацію, покращення функціональних характеристик мережі. Завданням дослідження є аналіз факторів, які визначають ефективність мережі об'єктів ГЦСК як територіально розподіленої системи, формалізація її структурного опису, розробка варіанта декомпозиції проблеми оптимізації мережі, визначення складу і схеми взаємозв'язку з вхідними і вихідними даними завдань системного проектування мережі.

Виклад основного матеріалу. У процесі оптимізації мережа ГЦСК (як територіально розподілений об'єкт), яка подається в традиційному вигляді $s = \langle E, R \rangle$ (де E – множина елементів; R – множина відношень між ними), може бути реалізована множиною різних топологій G^* . Виходячи з цього, можна стверджувати, що кожній з топологічних реалізацій $G \in G^*$ мережі відповідає свій набір властивостей [6]:

$$\varphi : (E, R, G) \rightarrow P, \quad (1)$$

де φ – деяке відображення.

Отже, подання мережі у вигляді $s = \langle E, R \rangle$ є досить загальним і може розглядатися тільки як її концептуальна модель на стадії передпроектних досліджень. Для вирішення ж завдань оптимізації та управління опис мережі ГЦСК має відображати її топологічні властивості, тобто мати такий вигляд:

$$s = \langle E, R, G \rangle, \quad (2)$$

де G – топологічна реалізація структури $\langle E, R \rangle$.

При цьому топологічна реалізація мережі ГЦСК може розглядатися як сукупність топологій елементів G_E , відношень (зв'язків) G_R і траєкторій (переміщень інформації, енергії, інших ресурсів, що визначаються алгоритмами або технологією функціонування мережі A) G_A , тобто $G = \langle G_E, G_R, G_A \rangle$.

На підставі аналізу цілей і завдань мережі на першому етапі оптимізації (структурного синтезу) необхідно визначити підмножину найважливіших властивостей P' , якими вона повинна володіти і які є підмножиною множини властивостей, що можуть бути отримані на універсальних множинах елементів E^U , відношень R^U і топологій G^U мережі:

$$P^U = \varphi(E^U, R^U, G^U). \quad (3)$$

Множина E^U в (3) включає в себе різні типи елементів, на яких побудована мережа ГЦСК. Безліч відношень R^U характеризується можливими принципами побудови ГЦСК, а також розподілом функцій між елементами мережі і, зокрема, описує можливі схеми взаємозв'язків між множиною елементів E^U . Склад R^U визначається складом E^U , а множини G^U – складом множин E^U та R^U (рис. 1).

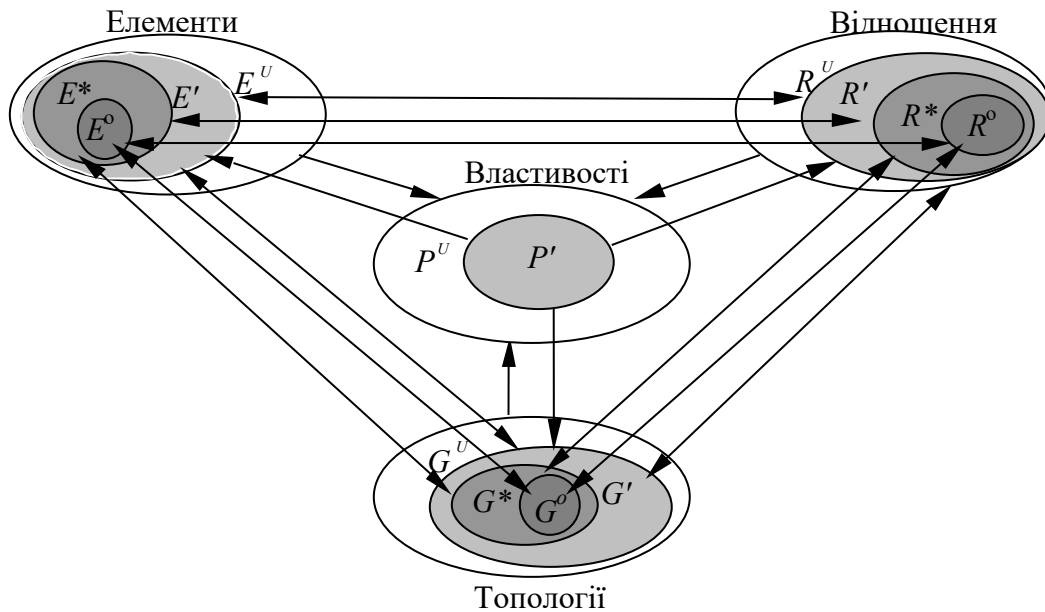


Рис. 1. Схема зв'язку категорій "елементи", "відношення", "топології" та "властивості" в процесі оптимізації мережі ГЦСК

Відображення P' на множині елементів E^U , відношень R^U і топологій G^U неявно визначає підмножини елементів E' , відношень R' і топологій G' , на яких може бути реалізована мережа з визначеними властивостями P' . У такий спосіб формується область існування мережі $S' = \{s\}$, яка, з урахуванням наявних технічних, економічних, географічних або інших обмежень, звужується до допустимої області синтезу $S^* = \{s\}$, $S^* \subseteq S'$, тобто $E^* \subseteq E' \subseteq E^U$, $R^* \subseteq R' \subseteq R^U$, $G^* \subseteq G' \subseteq G^U$ [6].

На наступних етапах завдання структурного синтезу мережі ГЦСК зводиться до вибору таких підмножин елементів $E^\circ \subseteq E^*$, відношень $R^\circ \subseteq R^*$ і топологій $G^\circ \subseteq G^*$ з допустимої області $S^* = \{S\}$, які забезпечують найбільш ефективно (наприклад, з мінімальними затратами ресурсів C°) досягнення необхідних властивостей P' .

Формалізація множини найважливіших властивостей $P' = \{p_i\}$ дозволяє отримати кількісні оцінки ступеня досягнення цілей оптимізації мережі та в цьому сенсі може служити множиною часткових критеріїв її ефективності. Серед найбільш загальних вимог, що висуваються до систем розглянутого класу (властивостей ГЦСК), слід виділити якість, час, витрати, надійність виконання завдань, живучість мережі. Рівень якості виконання завдань визначається, в основному, складом типових елементів (засобів та особового складу) ГЦСК $E \subseteq E^*$.

Виконання покладених на ГЦСК завдань має здійснюватися в мінімальні $\tau \rightarrow \min$ або встановлені $\tau \leq \tau^*$ терміни (τ^* – припустимий час на виконання завдань). Під вартістю виконання функцій C розуміють показники витрат на реорганізацію і (або) експлуатацію мережі ГЦСК, що реалізує заданий набір завдань.

У разі вирішення завдань оптимізації подібних мереж прагнуть до інтегральності часткових критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, щоб $|K| < |P'|$. На практиці ці умови виконуються, оскільки деякі властивості мережевих об'єктів є взаємопов'язаними і змінюються узгоджено. Наприклад, вимога неможливості відмови у виконанні завдання контролю призводить до того, що ненадійність одних елементів ГЦСК збільшує час виконання завдання за допомогою інших елементів; зростання кількості або номенклатури елементів мережі знижує ступінь її завантаження, збільшуючи витрати на виконання завдань тощо.

Оцінювання якості варіантів побудови мережі ГЦСК може бути реалізоване з використанням методології функціонально-вартісного аналізу [13]. Метою оптимізації мережі в даному разі є максимізація її ефективності, тобто отримання максимального співвідношення розміру ефекту від функціонування Q та витрачених на це ресурсів C . Без втрати спільності можливо припустити, що існують узагальнені оцінки ефекту і витрат ресурсів (вартості) на систему:

$$Q = F_1(E, R, G), \quad (4)$$

$$C = F_2(E, R, G), \quad (5)$$

де E, R, G – відповідно множини елементів, відношень між ними та їх топологій;

F_1, F_2 – деякі оператори, що визначають стратегії використання ресурсів, які виділяють на створення або модернізацію об'єкта.

Функціональний ефект мережі в загальному випадку є неспадною функцією від витрачених на його досягнення ресурсів (вартості):

$$\bar{Q} = F(\bar{C}),$$

де \bar{Q} та \bar{C} – узагальнені скалярні оцінки ефекту та вартості мережі;

F – оператор, що відображає стратегію використання ресурсів, яка визначається вибором варіанта побудови мережі $s \in S^*$.

На ранніх етапах проектування виникає завдання вибору варіанта побудови мережі за критерієм "ефект-вартість" [7–8]:

$$K_{QC} = \underset{Q,C,F}{opt} \Theta(Q, C, F), \quad (6)$$

де $opt \Theta$ – оператор, який визначає конкретний вид критерію ефективності.

В умовах заданих обмежень на показники ефекту та вартості завдання оптимізації мережі ГЦСК на основі критерію (6) може бути подане як:

$$s_1^o = \underset{s \in S^*}{arg \max} (\bar{Q}(s) - \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (7)$$

$$s_2^o = \underset{s \in S^*}{arg \max} (\bar{Q}(s) / \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (8)$$

де \bar{Q}^* , \bar{C}^* – граничні рівні наведених узагальнених оцінок ефекту та вартості мережі;

$S^* = \{s\}$ – множина припустимих варіантів побудови мережі.

Окремими випадками (7)–(8) є завдання інженерного синтезу:

в умовах заданих обмежень на ресурси (вартість) обрати варіант побудови мережі, що максимізує наведений ефект:

$$s_3^o = \underset{s \in S^*}{arg \max} (\bar{Q}(s) : \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*); \quad (9)$$

в умовах заданих обмежень на рівень ефекту обрати варіант побудови, що мінімізує передбачувані витрати на створення та (або) експлуатацію мережі:

$$s_4^o = \underset{s \in S^*}{arg \min} (\bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*). \quad (10)$$

Проблема оптимізації мережі ГЦСК включає комплекси завдань із визначення структури, топології, технології функціонування, параметрів елементів і зв'язків, всебічного оцінювання та вибору варіантів на різних етапах її життєвого циклу. Опис властивостей мережі та завдань її синтезу у вигляді (1)–(10) є досить загальним. Для отримання за ними проектних рішень потрібна їх деталізація.

З метою забезпечення ефективності та спадковості рішень на всіх етапах життєвого циклу мережі ГЦСК необхідне використання методології її оптимізації, що передбачає коректну декомпозицію проблеми на комплекси завдань, які належать до різних рівнів опису її об'єкта та етапів її оптимізації (реінжинірингу), розробку комплексу відповідних моделей, процедур, логічної схеми та технології оптимізації.

Проблема оптимізації подібних об'єктів розглядається такою, що складається із сукупності не в повному обсязі визначених завдань проектування, для яких не сконструйовані схеми проектування та не синтезовані моделі проектування, що дозволяє віднести її до слабкоструктурованих [9–10].

Методологію оптимізації мережі ГЦСК доцільно будувати на ідеях агрегативно-декомпозиційного та блочно-ієрархічного підходів, які передбачають розбиття опису об'єкта за ступенем деталізації на ієрархічні рівні та аспекти, а процесу оптимізації – на групи проектних процедур, пов'язаних з отриманням і перетворенням описів (рішень) відносно виділених рівнів і аспектів з подальшим їх об'єднанням (агрегацією) для отримання на відповідному рівні рішень щодо системи в цілому [6, 9].

Пропонуємо подати досліджувану проблему як метазадачу *MetaTask*, що складається з множини задач, які належать до різних ієрархічних рівнів декомпозиції, з їх взаємозв'язками за вихідними даними та результатами рішення (рис. 2) [6]:

$$MetaTask = \{Task_l\}, Task_l = \{Task_i^l\}, i = \overline{1, i_l}, l = \overline{1, n_l}, \quad (11)$$

де $Task_l$ – множина задач оптимізації рівня l ;

n_l – кількість рівнів опису мережі;

i – номер задачі (етапу, стадії оптимізації);

i_l – кількість задач рівня l .

Метарівень

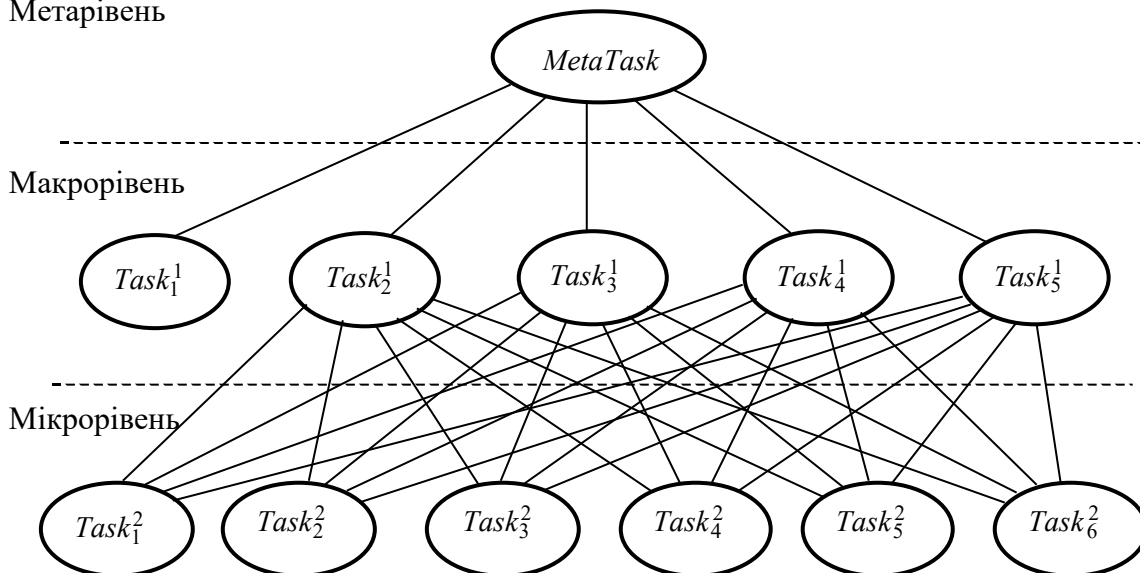


Рис. 2. Схема декомпозиції проблеми оптимізації мережі ГЦСК як територіально розподіленого об'єкта

Кожну із задач на цьому етапі подано в такому вигляді:

$$Task_i^l = In_i^l \rightarrow Out_i^l, i = \overline{1, i_l}, l = \overline{1, n_l}, \quad (12)$$

де In_i^l, Out_i^l – відповідно вхідні та вихідні дані i -ї задачі l -го рівня.

При цьому кожна з виділених задач (12) може бути подана у вигляді множини взаємопов'язаних підзадач $Task_i^l = \{Task_{ij}^l\}, j = \overline{1, j_i}$, де j_i – кількість підзадач задачі $Task_i^l$.

Системологічний аналіз проблеми оптимізації мережі ГЦСК та огляд її сучасного стану дозволяють зробити висновок про доцільність використання в конструкторському і техніко-економічному аспектах трьох ступенів деталізації їх опису на мета-, макро- та мікрорівнях.

На метарівні проблему *MetaTask* розглядають у цілому, аналізують її місце серед інших проблем глобального моніторингу.

Більшість завдань макрорівня за своєю суттю є задачами системного проектування і відрізняються обмеженнями, які відображають специфіку основних етапів життєвого циклу мережі:

$$Task^1 = \{Task_i^1\}, \quad i = \overline{1, 5}, \quad (13)$$

де $Task_1^1$ – формування вимог до мережі та розробка технічного завдання на проектування;

$Task_2^1$ – системне проектування;

$Task_3^1$ – планування розвитку;

$Task_4^1$ – структурна адаптація;

$Task_5^1$ – реінжиніринг мережі.

У межах розв'язання задачі $Task_1^1$ визначаються цілі, для досягнення яких оптимізується мережа, уточнюється коло вирішуваних нею завдань, досліджуються властивості зовнішнього середовища, характеристики її впливу, визначаються можливі принципи її побудови (Π).

Основна мета вирішення цього завдання полягає у визначенні оптимального співвідношення ефекту Q^* та витрат (вартості) C^* , тобто в розв'язку задачі (6), а також області існування мережі S' . Результат може бути отримано шляхом функціонально-вартісного аналізу мережі, яка оптимізується.

Вхідні та вихідні дані задачі $Task_1^1$ можуть бути подані в такому вигляді:

$$Task_1^1 : \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, \Pi, S'\}, \quad (14)$$

де $ObjS$ – множина характеристик об'єктів, які підлягають спостереженню;

Los – множина втрат за відсутності (невиконання функцій контролю) мережі;

Ben – множина ефектів (вигод) від використання інформації, одержуваної з мережі;

$S^U = \{s\}$ – вихідна множина варіантів побудови мережі, яка визначається універсальними множинами елементів E^U , відношень R^U і топологій G^U ;

K – множина критеріїв для оцінювання та вибору варіантів побудови мережі;

$S' = \{s\}$ – область існування мережі, яка визначається множиною елементів E' , відношень R' та топологій G' , що дозволяють отримати необхідний набір властивостей мережі Q^* .

Особливістю цієї задачі є оцінний характер вихідної інформації, її низька достовірність, евристичний характер оцінок, більшість з яких отримуються експертним шляхом.

Задача системного проектування $Task_2^1$ полягає у визначенні найкращого в сенсі множини обраних критеріїв K варіанта побудови мережі ГЦСК s° в умовах допустимих принципів її побудови Π , а також заданих структурних, топологічних, параметричних та технологічних обмежень $S' = \{s\}$, рівнів ефекту Q^* та (або) витрат C^* . Ступінь

визначеності вихідної інформації при цьому є більш високим, ніж для попередньої задачі.

Формально вона може бути подана в такому вигляді:

$$Task_2^1 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S', \Pi\} \rightarrow \{s^\circ, K(s^\circ)\}, \quad (15)$$

де s° – ефективний варіант побудови мережі, $s^\circ \in S^*$;

$K(s^\circ)$ – множина критерійних оцінок варіанта s° .

Задача планування розвитку мережі ГЦСК $Task_3^1$ полягає у виборі для заданої множини моментів часу $\{t\}$ ефективної траєкторії зміни структури s_t° у процесі її створення або еволюції в умовах зміни вимог $ObjS_t$, ресурсного забезпечення C_t^* , поетапної зміни обмежень на якість виконання функцій Q_t^* . Метою є визначення найкращої в сенсі множини критеріїв K послідовності введення в експлуатацію окремих елементів, підсистем і зв'язків, що забезпечують на кожному з етапів необхідний рівень ефективності Q_t^* в умовах обмежень на розміри виділених ресурсів C_t^* . При цьому потрібен розв'язок множини пов'язаних за вхідними та вихідними даними задач системного проектування у вигляді (15).

Формально задача $Task_3^1$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_3^1 : \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S'\} \rightarrow \{s_t^\circ, K(s_t^\circ)\}, \quad (16)$$

де $T = \{t\}$ – множина моментів часу, які відповідають етапам планування;

$S' = \{s\}$ – множина припустимих варіантів побудови мережі (область існування);

s_t° – ефективний варіант побудови мережі на t -му етапі;

$K(s_t^\circ)$ – множина критерійних оцінок варіанта s_t° .

Задача структурної адаптації мережі $Task_4^1$ розв'язується в процесі її експлуатації та пов'язана з необхідністю відносно незначних структурних, технологічних, топологічних або параметричних змін отриманого раніше варіанта $s^\circ \in S'$ у зв'язку зі змінами множини та (або) характеристик спостережуваних об'єктів $Obj\tilde{S}$, виходом з ладу деяких елементів (підсистем), змінами необхідних рівнів ефекту \tilde{Q}^* або витрат \tilde{C}^* тощо.

Формально задача $Task_4^1$ може бути подана в такому вигляді:

$$Task_4^1 : \{Obj\tilde{S}, s^\circ, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{s}^\circ, K(\tilde{s}^\circ)\}, \quad (17)$$

де \tilde{S}' – припустима множина варіантів адаптації мережі;

\tilde{s}° – ефективний адаптований варіант побудови мережі;

$K(\tilde{s}^\circ)$ – критерійна оцінка варіанта \tilde{s}° .

Задача реінжинірингу мережі ГЦСК $Task_5^1$ розв'язується в процесі її експлуатації та пов'язана з необхідністю кардинальних структурних, технологічних, топологічних або

параметричних змін у зв'язку зі змінами множини та (або) характеристик спостережуваних об'єктів $Obj\tilde{S}$, розширенням множини функціональних завдань, удосконаленням бази засобів та (або) технологій реалізації функцій мережі \tilde{S}' , що роблять наявний варіант мережі s° (s_i° або \tilde{s}°) малоефективним. При цьому допускається як повна заміна елементів E° та зв'язків між ними R° , так і їх модернізація, пов'язана зі зміною їх вартісних та функціональних характеристик Δ_{ER} .

Формально задача $Task_5^1$ може бути подана в такому вигляді:

$$Task_5^1 : \{Obj\tilde{S}, s^\circ, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{s}^\circ, K(\tilde{s}^\circ)\}, \quad (18)$$

де s° та \tilde{s}° – відповідно старий та новий варіант побудови мережі, який отримано в результаті її реінжинірингу;

Δ_{ER} – множина змін функціональних та вартісних характеристик, пов'язаних із переходом на нову елементну та технологічну базу.

Комплекс задач метарівня (14)–(18) охоплює все коло питань структурного синтезу мережі ГЦСК, які виникають на стадіях передпроектних досліджень, проектування, створення та експлуатації, що вирішуються в системах їх проектування та управління ними.

Основні завдання мікрорівня пов'язані з вирішенням питань системного проектування мережі ГЦСК:

$$Task^2 = \{Task_i^2\}, \quad i = \overline{1, 6}, \quad (19)$$

де $Task_1^2$ – вибір принципів побудови мережі;

$Task_2^2$ – вибір структури мережі;

$Task_3^2$ – визначення топології елементів та зв'язків;

$Task_4^2$ – вибір технології функціонування мережі;

$Task_5^2$ – визначення параметрів елементів та зв'язків мережі;

$Task_6^2$ – оцінка ефективності варіантів та вибір рішень.

Вибір принципів побудови та функціонування мережі ГЦСК π із множини припустимих Π , визначених у процесі розв'язання задачі $Task_1^1$, здійснюється неформальними методами на підставі знань і досвіду проєктувальників. При цьому множина варіантів, які окреслюють область існування мережі S' , що подається множинами елементів E' , відношень R' та топологій G' , скорочується до множини припустимих варіантів побудови мережі $S^* \subseteq S'$, яка визначається множинами елементів $E^* \subseteq E'$, відношень $R^* \subseteq R'$ та топологій $G^* \subseteq G'$.

Формально задачу вибору принципів побудови $Task_1^2$ можна подати в такому вигляді:

$$Task_1^2 : \{ObjS, \Pi, S', K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{\pi, S^*\}, \quad (20)$$

де $ObjS$ – множина характеристик об'єктів, які спостерігаються;

K – множина критеріїв для оцінювання та вибору варіантів побудови мережі;

Q^* , C^* – задані рівні ефекту та допустимих витрат на мережу;

$S^* = \{s\}$ – множина припустимих варіантів побудови мережі, що задається множиною елементів E^* , відношень R^* та топологій G^* , виходячи з обраних принципів її побудови $\pi \in \Pi$.

Задача вибору структури мережі $Task_2^2$ присвячена до визначенню варіанта її побудови s_{AB} (із заданими технологією функціонування $A = \psi_A(E, R)$, параметрами елементів і відношень $B = \psi_B(E, R)$) кількістю елементів $|E|$ і зв'язками між ними $R \subseteq R^*$, а також оцінюванню властивостей отриманого варіанта s_{ER} у критерійному просторі K . Задача розв'язується в умовах заданих рівнів ефекту Q^* та витрат C^* .

Формально $Task_2^2$ можна подати в такому вигляді:

$$Task_2^2 : \{ObjS, A, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{|E|, R, s_{ER}, K(s_{ER})\}. \quad (21)$$

Задача вибору топології елементів і зв'язків $Task_3^2$ полягає в до визначенні для заданих елементів E зв'язків між ними R , параметрів B та технології функціонування A варіанта побудови мережі s_{ERAB} кращою топологією $G \subseteq G^*$. При цьому враховуються обмеження на припустимі рівні ефекту Q^* та витрат C^* .

Формально задача $Task_3^2$ може бути подана в такому вигляді:

$$Task_3^2 : \{ObjS, E, R, A, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{G, s_G, K(s_G)\}, \quad (22)$$

де s_G – варіант побудови мережі з оптимізованою топологією.

Задача вибору технології функціонування мережі ГЦСК $Task_4^2$ присвячена до визначенню в умовах заданих множин елементів E зв'язків між ними R , топології G , параметрів елементів та зв'язків $B = \psi_B(E, R)$ варіанта її побудови s_{ERGB} найкращою технологією $A = \psi_A(E, R)$. При цьому також можуть бути задані рівні необхідного ефекту Q^* та граничних витрат C^* .

Формально задачу вибору технології функціонування $Task_4^2$ можна подати як

$$Task_4^2 : \{ObjS, E, R, G, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{A, s_A, K(s_A)\}, \quad (23)$$

де s_A – варіант побудови мережі з оптимізованою технологією її функціонування.

Задача визначення параметрів елементів та зв'язків мережі $Task_5^2$ полягає у виборі варіанта її побудови $s_B \subseteq S^*$, який має кращі значення B . Її розв'язання здійснюється в умовах заданих структурних $(|E|, R)$, топологічних G і технологічних A характеристик мережі. Потрібно параметричне до визначення варіанта s_{ERGA} . Результати розв'язання цієї задачі є основою для вибору типів вузлів, елементів та зв'язків із заданих множин типових об'єктів.

Формально задача визначення параметрів елементів та зв'язків мережі ГЦСК $Task_5^2$ може бути подана в такому вигляді:

$$Task_5^2 : \{ObjS, |E|, R, G, A, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{B, s_B, K(s_B)\}. \quad (24)$$

Задача визначення ефективності варіантів і вибору рішень $Task_6^2$ полягає в оцінюванні варіантів побудови мережі $s \subseteq S^*$ за множиною критеріїв K та виборі найкращого з них $s^\circ = \underset{s}{arg\ opt} K(s)$. Її розв'язання здійснюється в умовах заданих структурних (E, R) , топологічних G та технологічних A характеристик мережі, а також параметрів елементів та зв'язків B .

Формально задачу $Task_6^2$ можна подати в такому вигляді:

$$Task_6^2 : \{ObjS, Q^*, C^*, S^*, K\} \rightarrow \{s^\circ, K(s^\circ)\}. \quad (25)$$

Подальша декомпозиція задач мікрорівня $Task_i^2 = \{Task_{ij}^2\}$, $j = \overline{1, j_i}$ (де j_i – кількість підзадач задачі $Task_i^2$) приводить до комплексу задач синтезу елементів, елементарних зв'язків та елементів технологій функціонування мережі ГЦСК. У процесі її системного проєктування розв'язки з цього комплексу задач можуть бути знайдені раніше та використовуватися як вихідні дані (обмеження) у вигляді множин припустимих значень їх функціональних та вартісних характеристик B^* .

Процес оптимізації мережі ГЦСК, окрім перерахованих, може включати комплексні задачі, пов'язані з її специфікою або використовуваною методологією синтезу, а також комплекси задач мікрорівня, наприклад, структурно-топологічного, структурно-технологічного, структурно-параметричного синтезу.

Висновки. Для побудови технології системної оптимізації ГЦСК необхідна розробка комплексу моделей визначених задач (11) з урахуванням їх взаємозв'язку за вхідними та вихідними даними.

Методологія системологічного аналізу проблеми оптимізації територіально розподілених об'єктів може бути використана для проєктування інформаційних систем, розподілених систем обслуговування і великомасштабного моніторингу. Практичне застосування отриманих результатів для розв'язання проблеми оптимізації мережі ГЦСК дозволить скоротити терміни вирішення завдань проєктування та планування її розвитку, скоротити витрати на її модернізацію або реінжиніринг за рахунок підвищення якості рішень та на цій основі покращити функціональні характеристики мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Управление развитием крупномасштабных систем. Современные проблемы / С. Н. Васильев, А. А. Макаров, В. Л. Макаров и др.; под ред А. Д. Цвиркуна. Москва : Изд-во физ.-мат. литературы, 2015. 477 с.
2. Безрук В. М., Чеботарева Д. В., Скорик Ю. В. Многокритериальный анализ и выбор средств телекоммуникаций. Харьков : ФОП Коряк С. Ф., 2017. 268 с.
3. Інформаційні системи та мережі військ. Ч. 1 / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов, 60

- I. О. Романенко та ін.; за ред. I. В. Рубана. Харків : ХУПС, 2013. 328 с.
4. Zhivitskaya N. Topological properties and methodology of research of complex logistic systems efficiency // ECONTechMOD. 2014. Vol. 3 (3). P. 23–32.
5. Петров Э. Г., Пискалова В. П., Бескоровайный В. В. Территориально распределенные системы обслуживания. Киев : Техника, 1992. 208 с.
6. Бескоровайный В. В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 2002. Вып. 120. С. 29–37.
7. Бескоровайный В. В., Подоляка К. Е. Разработка системологической модели проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 3 (75). С. 37–42.
8. Beskorovainyi V., Imanhulova Z. Technology of large-scale objects system optimization // ECONTechMOD. 2017. Vol. 6 (4). P. 3–8.
9. Цвиркун А. Д., Акинфиев В. К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития. Москва : Наука, 1993. 160 с.
10. Тимченко А. А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів : у 2 кн. Кн. 1. Основы САПР та системного проектирования складних об'єктів / За ред. В. І. Бикова. Київ : Либідь, 2000. 272 с.
11. Beskorovainyi V., Podoliaka K. Reengineering the topological structure of large-scale monitoring systems // ECONTechMOD. 2015. Vol. 4 (3). P. 13–18.
12. Method of system design of the network of means of special control / V. Bezkorovayny, O. Solonets, K. Kulagin and other // Advanced Information Systems. 2017. Vol. 1, No. 2. P. 15–20.
13. Справочник по функционально-стоимостному анализу / А. П. Ковалев, Н. К. Моисеева, В. В. Сысун и др.; под ред. М. Г. Карпунина, Б. И. Майданчика. Москва : Финансы и статистика, 1988. 431 с.

Подано 29.12.2018

**В. В. Бескоровайный, Ю. А. Гордиенко, А. В. Кошель, К. К. Кулагин, А. И. Солонец
СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ
ОБЪЕКТОВ ГЛАВНОГО ЦЕНТРА СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

Структурные, стоимостные и функциональные характеристики распределённых систем много в чем определяются топологией ее подсистем и элементов, которая, в свою очередь, определяет топологию коммуникационных связей, реализующих обмен между элементами и подсистемами ресурсами и информацией. Это характерно для многих современных технических, организационно-технических и социально-экономических систем.

В статье проанализированы факторы, которые определяют эффективность сети объектов Главного центра специального контроля как территориально распределенной системы, формализованы ее структурное описание и целевое применение. Сформулирована проблема оптимизации данной сети объектов, которая включает комплексы задач выбора структуры, топологии, технологии функционирования, параметров элементов и связей, всесторонней оценки и выбора вариантов на разных этапах ее жизненного цикла. Определена целесообразность построения методологии оптимизации сети объектов Главного центра специального контроля на идеях

агрегативно-декомпозиционного и блочно-иерархического подходов. Предложена трехуровневая схема декомпозиции проблемы оптимизации сети, которая включает множество задач ее проектирования, планирования развития, адаптации и реинжиниринга. Установлены состав и схема взаимосвязи с входящими и исходящими данными задач системного проектирования сети. Практическое применение полученных результатов для решения проблемы оптимизации сети объектов Главного центра специального контроля позволит сократить сроки решения задач проектирования и планирования ее развития, уменьшит расходы на ее модернизацию или реинжиниринг, а за счет совместного решения задач – повысить качество решений и на этой основе улучшить функциональные характеристики сети. Методология системологического анализа проблемы оптимизации территориально распределенных объектов может быть использована при проектировании информационных систем, распределенных систем обслуживания и многомасштабного мониторинга.

Ключевые слова: *сеть; оптимизация; реинжиниринг; специальный контроль.*

V. V. Bezkorovayny, Yu. O. Gordienko, A. V. Koshel, K. K. Kulagin, O. I. Solonets
SYSTEMOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE NETWORK OF MAIN CENTER OF THE SPECIAL MONITORING OBJECTS

Structural, cost and functional characteristics of distributed systems are largely determined by the topology of their subsystems and elements. In its turn the topology of subsystems and elements determines the topology of communication links, providing the exchange of resources and information between elements and subsystems. It is common for many modern technical, organizational and technical, and socio-economic systems.

The article analyzes the factors, which determine the efficiency of the network of Main Center of the Special Monitoring objects as a territorially distributed system, formalizes its structural description and designation purpose. It formulates the problem of optimizing the network of Main Center of the Special Monitoring objects that includes complexes of tasks, which deal with the choice of structure, topology, technology of functioning, parameters of elements and connections, comprehensive assessment and choice of options at various stages of the network life cycle. The article determines the expediency of developing a methodology for optimizing the network of the objects of Main Center of the Special Monitoring on the ideas of aggregation-decomposition and block-hierarchical approaches. It suggests the three-level scheme for decomposition of the network optimization problem; that scheme includes the sets of tasks for the network design, evolution planning, adaptation and reengineering. In the article the composition and scheme of interconnections with input and output data of the tasks of network system design are determined. It is concluded that practical application of the obtained results for solution of the problem of optimizing the network of Main Center of the Special Monitoring objects will reduce the time expenditures inevitable in solution of the tasks of the network design and its development planning; it will also reduce the expenses for its modernization or reengineering, through the joint solution of tasks it will improve the quality of solutions and enhance on that basis the network's functional characteristics. The methodology of systemologic analysis of the problem dealing with optimization of geographically distributed objects can generally be used in the design of any information systems, distributed service systems and large-scale monitoring.

Keywords: *network; optimizing; reengineering; special monitoring.*