

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ПОДОЛЯКА КСЕНІЯ ЄВГЕНІЇВНА

Підпис

УДК 519.6:004.9

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РЕІНЖИНІРИНГУ ТОПОЛОГІЧНИХ
СТРУКТУР СИСТЕМ КРУПНОМАСШТАБНОГО МОНІТОРИНГУ

05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Безкоровайний Володимир Валентинович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
системотехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Годлевський Михайло Дмитрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри програмної інженерії
та інформаційних технологій управління;

доктор технічних наук, професор
Нефьодов Леонід Іванович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Захист відбудеться «13» грудня 2016 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.02 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий «08» листопада 2016 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах глобалізації та інформатизації антропогенних процесів розв'язання багатьох соціально-економічних і науково-дослідних задач здійснюється на основі даних, що надаються системами екологічного, метеорологічного, астрономічного, економічного, інших видів крупномасштабного моніторингу. Зміна умов експлуатації або засобів моніторингу (зміна кількості об'єктів спостереження, підвищення вимог до оперативності та точності спостережень, удосконалення технологій обробки, зберігання та передачі інформації) знижує ефективність існуючих варіантів реалізації систем та потребує проведення їх реінжинірингу.

Реінжиніринг систем крупномасштабного моніторингу (СКММ) передбачає розв'язання комплексу проектних комбінаторних задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. З урахуванням того, що множини допустимих технологій функціонування, параметрів елементів і зв'язків систем моніторингу незначні, основну складність становлять задачі оптимізації їх топологічних структур.

Математичні моделі та методи проектування систем крупномасштабного моніторингу базуються на теорії складних систем та теорії оптимізації топологічних структур територіально розподілених об'єктів, які створені і отримали подальший розвиток у роботах D.Z. Du, H. Good, P. Green, L. Kleinrock, G. Klir, M. Mesarovic, K.R. Odom, P.M. Pardalos, С.В. Барбашева, В.В. Безкоровайного, А.Б. Болотова, Н.П. Бусленка, В.М. Глушкова, М.Д. Годлевського, Б.Я. Етінгера, Ю.П. Зайченка, В.В. Малишева, Л.І. Нефьодова, Е.Г. Петрова, А.Д. Цвіркуна, Г.Ф. Янбиха.

Незважаючи на численні публікації, присвячені вирішенню проблеми оптимізації СКММ, лишається протиріччя між необхідністю підвищення ефективності існуючих варіантів їх реалізації і обмеженістю існуючих математичних моделей і методів розв'язання задач їх структурно-топологічної оптимізації, що використовуються у процесах їх проектування та реінжинірингу. Це обумовлює актуальність науково-технічної задачі підвищення ефективності засобів автоматизації проектування топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів Міністерства освіти і науки України у Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) в період з 2011 по 2016 рік у рамках науково-дослідних робіт: держбюджетна тема № 254-2 «Структурний синтез територіально розподілених об'єктів в умовах неповної визначеності» (№ ДР 01116U002624); держбюджетна тема № 293-3 «Розробка математичних моделей і методів реінжинірингу топологічних структур територіально розподілених об'єктів» (№ ДР 0115U001522). Здобувач брала участь у виконанні робіт за вказаними темами як виконавець. У рамках проведених досліджень нею були розроблені математичні моделі, методи та програмне забезпечення для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур трирівневих централізованих систем крупномасштабного моніторингу.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка математичних моделей, ефективних методів та програмного забезпечення для розв'язання задач багатокритеріального реінжинірингу топологічних структур сис-

тем крупномасштабного моніторингу.

Для досягнення поставленої мети необхідно було:

- провести огляд і аналіз сучасного стану проблеми реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу;
- розробити системологічну модель проблеми структурно-топологічного реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу;
- виконати формалізацію найбільш вживаних на практиці часткових критеріїв ефективності для задач реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу;
- розробити математичні моделі задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу за множиною функціонально-вартісних показників;
- розробити базовий метод, що дозволяє визначати ефективні розв'язки задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу;
- розробити модифікації методу розв'язання задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу, що враховують обмеження за показниками точності та часу отримання розв'язків;
- розробити алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу;
- провести експериментальне дослідження ефективності та практичну апробацію отриманих теоретичних результатів.

Об'єкт дослідження – системи крупномасштабного моніторингу.

Предмет дослідження – процес реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу.

Методи досліджень. Дослідження базується на комплексному використанні методів системного аналізу, дослідження операцій та математичної статистики: для подання й аналізу варіантів топологічних структур використовуються елементи теорії графів; для формування та вибору ефективних варіантів топологічних структур використовуються методи спрямованого перебору, покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу, кластеризації; для оцінки ефективності та вибору рішень за множиною показників використовуються методи кількісної теорії корисності та прийняття рішень; для оцінки точності та часової складності розроблених методів використовуються методи статистичного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті виконання дисертаційного дослідження розроблені математичні моделі, методи та програмне забезпечення для розв'язання багатокритеріальних задач реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу.

При цьому отримано такі нові наукові результати:

- дістала подальшого розвитку системологічна модель проблеми реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу у частині врахування топологічних особливостей проблемно пов'язаних задач, що дозволяє коректно формувати вхідні дані задач у логічних схемах процесів їх оптимізації;
- дістала подальшого розвитку шляхом формалізації система часткових критеріїв витрат (у частині врахування можливості модернізації та повторного використання наявного обладнання), оперативності, надійності та живучості для задач реін-

жинірингу централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу з однотипними елементами та зв'язками у вигляді явних залежностей від змінних, що описують їх топологічні структури;

– на основі запропонованої формалізації часткових критеріїв уперше розроблена математична модель багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу за показниками витрат, оперативності, надійності та живучості, окремими випадками якої є математичні моделі задач за одним, двома або трьома критеріями;

– дістав подальшого розвитку метод спрямованого перебору варіантів, що дозволяє визначати ефективні розв'язки багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу, у частині врахування показників оперативності, надійності та живучості;

– розроблені модифікації методу спрямованого перебору для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу, що використовують схеми розміщення вузлів на основі покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу та кластеризації, які мають суттєво менші часові складності, ніж комбінаторні методи.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені математичні моделі і методи розв'язання задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу розширюють методологічну основу систем автоматизації проектування, планування розвитку та реінжинірингу територіально розподілених об'єктів різного призначення.

Усі запропоновані методи реалізовані програмно. На їх основі створено програмно-методичний комплекс *Reengineering-TS*. Вони апробовані, показали свою працездатність і ефективність на прикладах розв'язання тестових задач реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу за одним або множиною критеріїв.

Практичне використання отриманих результатів дозволяє за рахунок вибору найбільш ефективного методу (виходячи з наявних обчислювальних ресурсів і розмірності розв'язуваної задачі) скоротити витрати на реінжиніринг і покращити функціональні характеристики топологічних структур систем, що проектуються.

Практичне значення результатів підтверджується їх впровадженням. Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі, методи та програмне забезпечення для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур впроваджені: у держбюджетні науково-дослідні роботи, що виконуються в рамках тематичних планів науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки, що фінансуються за рахунок Міністерства освіти і науки України; у Головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України; в Українському науково-дослідному інституті екологічних проблем; у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем і опубліковані в роботах [1–16]. У роботах, опублікованих зі співавторами здобувачу належать такі результати: в [1, 12] – розробка системологі-

чної моделі проблеми структурно-топологічного реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу; в [2] – розробка моделі багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу; в [3, 13, 14] – формалізація часткових критеріїв витрат, оперативності, надійності та живучості для проектів реінжинірингу трирівневих централізованих систем крупномасштабного моніторингу; в [4] – метод спрямованого перебору локальних екстремумів функції мети для розв’язання задачі реінжинірингу систем з радіально-вузловими структурами за показниками оперативності та витрат; в [5] – модифікація методу спрямованого перебору варіантів, що дозволяє отримувати оптимальні розв’язки за показником витрат з урахуванням обмежень на показники оперативності, надійності та живучості; в [6] – модифікації методу спрямованого перебору для реінжинірингу топологічних структур систем моніторингу, що використовують повний перебір можливих варіантів розміщення вузлів, а також схеми покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу, кластеризації на основі k-means; в [7, 15] – метод вибору багатокритеріальних рішень при реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу за показниками витрат, оперативності, надійності та живучості.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були апробовані на: XI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології» (Одеса, 2012 р.); XVIII, XIX та XX Молодіжних форумах «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2014, 2015, 2016 рр.); Науковій конференції фізико-технічного факультету Донецького національного університету (Вінниця, 2015 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами: стан та перспективи», (Миколаїв, 2015р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами» (Коблево, 2015 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 16-ти наукових публікаціях, в їх числі: 1 колективна монографія, 1 стаття у закордонному науковому періодичному виданні; 5 статей у періодичних виданнях, включених до переліків спеціалізованих наукових видань України з технічних наук, і 9 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел зі 132 найменувань (15 с.), 1 додатку (8 с.). Її повний обсяг становить 171 с., у тому числі 41 рисунок (17 с.) та 19 таблиць (5 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційного дослідження, зокрема, необхідність розробки математичних моделей, методів та програмного забезпечення для реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу; сформульовані мета, задачі, об’єкт, предмет дослідження; визначені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів; названі використані методи дослідження; наведено особистий внесок здобувача у публікаціях зі співавторами, відомості про апробацію результатів та публікації за темою дисертації.

Перший розділ роботи присвячений огляду та аналізу сучасного стану проблеми реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу. У ньому: розглянуто приклади сучасних СКММ, проаналізовано основні характеристики, які впливають на їх топологічну організацію, та показники, які враховуються при розв'язанні задач реінжинірингу; розглянуто існуючі моделі реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу, методи оптимізації їх топологічних структур та сучасні підходи до автоматизованого проектування таких систем.

Встановлено, що: більшість існуючих моделей розроблено для розв'язання однокритеріальних (за показниками витрат) задач без урахування вимог щодо оперативності, надійності, інших показників; оптимізація їх топологічних структур здійснюється в умовах різного ступеня визначеності вхідних даних, часових і ресурсних обмежень; для розв'язання задач використовуються методи комбінаторної оптимізації, що мають занадто високу часову складність і в умовах сучасного розвитку обчислювальної техніки не придатні для розв'язання задач актуальних для практики розмірів; похибки наближених методів з урахуванням значних витрат на реінжиніринг СКММ призводять до значних втрат ресурсів. Це призводить до необхідності розробки нових або удосконалення існуючих засобів автоматизації розробки проектів реінжинірингу СКММ.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету та задачі дисертаційної роботи, які передбачають розробку математичних моделей, ефективних методів та програмного забезпечення для розв'язання задач багатокритеріального реінжинірингу топологічних структур систем моніторингу.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1, 8, 9, 13, 14].

У другому розділі розроблено системологічну модель проблеми структурно-топологічного реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу та визначено методологічні основи, на яких ґрунтуватиметься технологія її розв'язання.

Для структуризації і зменшення складності проблеми реінжинірингу топологічних структур СКММ запропонована трирівнева схема її декомпозиції, яка визначає склад і схему взаємозв'язків проблемно пов'язаних задач $Task_i^l$ за вхідними і вихідними даними на мета-, макро- та мікрорівні:

$$Task_i^l := In_i^l \rightarrow Out_i^l, i = \overline{1, i_l}, l = \overline{0, 2}, \quad (1)$$

де In_i^l, Out_i^l – відповідно вхідні та вихідні дані i -ї задачі l -го рівня $Task_i^l$; $i = \overline{1, i_l}$; i_l – кількість задач на l -му рівні.

На метарівні розглядається загальне завдання реінжинірингу, яке полягає в отриманні такого рішення, що буде враховувати поточний стан системи (включаючи параметри компонентів, її структурно-топологічну реалізацію, технологію функціонування). При цьому рішення має бути досить стійким до можливих змін умов функціонування системи.

Формально задача реінжинірингу на метарівні подається у вигляді:

$$MetaTask = Task_1^0 : \{ObjS, s', Q^*, C^*, S\} \rightarrow \{s^0, K(s^0)\}, \quad (2)$$

де $ObjS$ – множина характеристик об'єктів моніторингу; s' – існуючий варіант побудови СКММ; Q^* – граничне значення функціональних характеристик системи; C^* – граничне значення ресурсного обмеження; S – область реінжинірингу, що визначає допустимі варіанти побудови системи; s^o – найкращий варіант реінжинірингу; $K(s^o)$ – покритеріальна оцінка варіанту s^o .

До метарівня віднесено множину задач: $Task^1 = \{Task_i^1\}$, $i = \overline{1,3}$, де $Task_1^1$ – оцінка властивостей існуючої системи; $Task_2^1$ – прийняття рішення щодо реінжинірингу; $Task_3^1$ – розробка технічного завдання на реінжиніринг.

Задачі мікрорівня реалізують власне концепцію реінжинірингу:

$$Task^2 = \{Task_j^2\}, \quad j = \overline{1,6}, \quad (3)$$

де $Task_1^2$ – вибір принципів побудови системи $\pi \in \Pi$; $Task_2^2$ – реінжиніринг структури системи $s_{ER}^o \in S$; $Task_3^2$ – реінжиніринг топології елементів і зв'язків $s_G^o \in S$; $Task_4^2$ – реінжиніринг технології функціонування $s_A^o \in S$; $Task_5^2$ – визначення параметрів елементів і зв'язків $s_B^o \in S$; $Task_6^2$ – оцінка ефективності $K(s)$ та вибір кращого варіанта реінжинірингу $s^o \in S$.

У складі розробленої системологічної моделі задачі мікрорівня подано у такому вигляді:

$$Task_1^2 : \{ObjS, \Pi, S, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{\pi, S^*\}; \quad (4)$$

$$Task_2^2 : \{ObjS, s, S, E, R, G, A, B, Q^*, C^*\} \rightarrow \{E^o, R^o, s_{ER}^o, K(s_{ER}^o)\}; \quad (5)$$

$$Task_3^2 : \{ObjS, s, S, E, R, G, A, B, Q^*, C^*\} \rightarrow \{G^o, s_G^o, K(s_G^o)\}; \quad (6)$$

$$Task_4^2 : \{ObjS, s, S, E, R, G, A, B, Q^*, C^*\} \rightarrow \{A^o, s_A^o, K(s_A^o)\}; \quad (7)$$

$$Task_5^2 : \{ObjS, s, S, E, R, G, A, B, Q^*, C^*\} \rightarrow \{B^o, s_B^o, K(s_B^o)\}; \quad (8)$$

$$Task_6^2 : \{ObjS, s, S, E, R, G, A, B, Q^*, C^*\} \rightarrow \{s^o, K(s^o)\}; \quad (9)$$

де $E, E^o, R, R^o, G, G^o, A, A^o, B, B^o$ – відповідно множини допустимих і найкращих компонентів, зв'язків між компонентами, топологій, технологій функціонування та параметрів системи; $s_{ER}^o, s_G^o, s_A^o, s_B^o$ – відповідно найкращі розв'язки задач оптимізації структури, топології, технології функціонування, параметрів елементів і зв'язків; s^o – найкращий розв'язок задачі реінжинірингу системи моніторингу.

Формалізація комплексу задач (4) – (9) дозволила створити логічну схему технології реінжинірингу топологічних структур СКММ (рис. 1).

У рамках запропонованої технології сформульовано базову постановку задачі структурно-топологічного реінжинірингу трирівневої централізованої СКММ, що побудована на однотипних елементах, вузлах і каналах зв'язку у такій постановці.

Задані: множина елементів системи $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n}$, які покривають усю множину об'єктів моніторингу; існуючий варіант топологічної структури $s' \in S$, що заданий місцями розташування елементів, вузлів, центру (центр розміщується на базі елемента $i = l$), а також зв'язками між елементами, вузлами та центром $[s'_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$ (s'_{ij} , $s'_{ij} = 1$, якщо між i та j існує безпосередній зв'язок та $s'_{ij} = 0$ – у протилежному випадку); витрати на створення або модернізацію вузлів $[c_i]$, $i = \overline{1, n}$ і зв'язків $[c_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$.

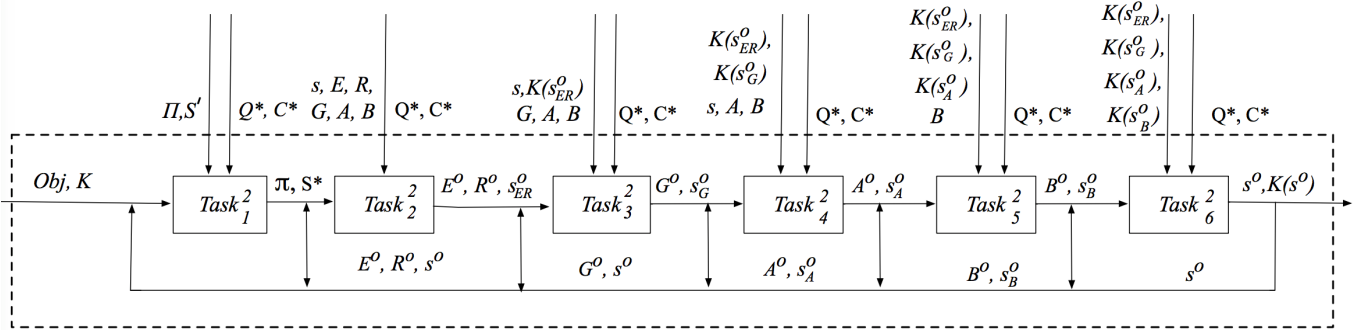


Рисунок 1 – Схема технології структурно-топологічного реінжинірингу СКММ

Необхідно визначити найкращий за множиною функціонально-вартісних показників варіант топологічної структури СКММ $s^o \in S$ з урахуванням заданих обмежень на витрати, час отримання інформації, показники надійності і живучості системи.

Формально множина допустимих рішень сформульованої задачі визначається такими умовами:

$$S = \{s\} = \begin{cases} [s_{ij}], s_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, n}, s_{11} = 1; \\ \sum_{i=j}^n s_{ij} \geq 1, \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n s_{ij} = n + \sum_{i=1}^n s_{ii}; \\ s_{ii} = 1 \rightarrow s_{i1} = 1 \quad \forall i = \overline{1, n}; \\ s_{ii} = 1 \wedge s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{i \leq j \leq n} c_{ji} \quad \forall i, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язувана задача може бути подана як задача оптимізації:

$$s^o = \arg \max_{s \in S} P(s), \quad P(s) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(s), \quad \xi_i(s) = \left(\frac{k_i(s) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\mu_i}, \quad (11)$$

де $P(s)$ – узагальнена оцінка альтернативи s ; m – кількість часткових крите-

рїїв; λ_i – коефіцієнт важливості критерію $k_i(s)$, $\sum_i \lambda_i = 1$, $\lambda_i \geq 0$; $i = \overline{1, m}$;
 $\xi_i(s) = \xi_i[k_i(s)]$ – функція корисності часткового критерію (ФКЧК) $k_i(s)$; $k_i(s)$,
 k_i^+ , k_i^- – поточне, найкраще та найгірше значення критерію k_i ; μ_i , $i = \overline{1, m}$ – пара-
метр, який визначає вид залежності $\xi_i(s)$.

Основні результати цього розділу опубліковані у роботах [1, 3, 10 – 12].

У **третьому розділі** отримано формалізовані співвідношення для оцінки показників витрат (12), оперативності (13), надійності (14), живучості (15) з урахуванням їхньої залежності в явному вигляді від параметрів топологічної структури системи та розроблено математичну модель багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур.

Цільова функція витрат на реінжиніринг СКММ у наведених вище позначеннях подана у такому вигляді:

$$k_1(s', s) = \Delta C(s', s) = \sum_{i=1}^n [c_i(1 - s'_{ii}) s_{ii} + d_i s'_{ii} s_{ii} + e_i(1 - s_{ii}) s'_{ii} - g_i(1 - s_{ii}) s'_{ii}] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n [c_{ij}(1 - s'_{ij}) s_{ij} + d_{ij} s'_{ij} s_{ij} + e_{ij}(1 - s_{ij}) s'_{ij} - g_{ij}(1 - s_{ij}) s'_{ij}] \rightarrow \min_{s \in S} \quad (12)$$

де c_i – витрати на створення i -го компонента у новій структурі, $i = \overline{1, n}$;
 s'_{ij} , s_{ij} – елементи матриць суміжності (зв'язків) між компонентами в існуючій $x' = [x'_{ij}]$ і структурі після реінжинірингу $x = [x_{ij}]$; d_i – витрати на модернізацію i -го компонента; e_i – витрати на демонтаж i -го вузла існуючої структури; g_i – вартість ресурсів, які можуть бути повторно використані (або реалізовані) після демонтажу обладнання i -го вузла; c_{ij} – вартість зв'язку між елементами i та j , $i, j = \overline{1, n}$.

За умови прагнення до мінімізації максимального часу отримання даних моніторингу критерій максимізації оперативності поданий у вигляді:

$$k_2(s) = \left\{ \tau^C + \frac{\bar{\alpha}}{\gamma_1} + \tau^E + \frac{\bar{\beta}}{\gamma_2} + \left(\frac{\bar{\alpha}}{\gamma_1} + \frac{\bar{\alpha}}{h_1} + \frac{\bar{\beta}}{h_2} + \frac{\bar{\beta}}{\gamma_2} \right) \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n s_{ji} s_{ij} \right\} \rightarrow \min_{s \in S} \quad (13)$$

де τ^C , τ^E – час на видачу запиту центром та отримання інформації щодо об'єкту моніторингу елементом; $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$ – обсяги інформації в запиті та відповіді на запит; γ_1 , γ_2 – пропускні здатності каналів зв'язку «центр-вузол» і «вузол-елемент»; h_1 , h_2 – швидкості обробки запиту та відповіді у вузлах системи.

Для оцінки надійності СКММ запропоновано використовувати комплексний показник – коефіцієнт її готовності. З урахуванням цього критерій максимізації надійності поданий у вигляді:

$$k_3(s) = k^C \times (k^U)^u \times (k^E)^n \times (k^{CU})^u \times (k^{UE})^n \rightarrow \max_{s \in S}, \quad (14)$$

де k^C , k^U , k^E , k^{CU} , k^{UE} – коефіцієнти готовності центра, вузла, елемента, каналів зв'язку «центр-вузол» і «вузол-елемент»; n , $u = \sum_{i=1}^n s_{ii}$ – кількість елементів та вузлів у системі.

Як оцінку живучості СКММ $k_4(s)$ запропоновано використовувати значення частки елементів зв'язаних із центром у працездатній системі, при одиночних пошкодженнях її компонентів. При цьому, незалежно від топологічної структури, при пошкодженні центру $k_4(s) \equiv 0$, а при пошкодженні одного каналу зв'язку «вузол-елемент» чи одного елемента $k_4(s) \equiv \frac{n-1}{n}$. З урахуванням цього критерій максимізації живучості СКММ враховує лише пошкодження зв'язків «центр-вузол», «вузол-елемент» і вузлів та поданий у вигляді:

$$k_4(s) = \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \left(\frac{n - \sum_{j=2}^n \sum_{i=j}^n s_{ji} s_{ii}}{n} \right) \right\} \rightarrow \max_{s \in S}. \quad (15)$$

З урахуванням формалізованих показників (12) – (15) розроблено нову математичну модель багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу, яка у скороченому поданні має вигляд:

$$\begin{cases} k_1(s', s) \rightarrow \min_{s \in S}; & k_1(s', s) \leq k_1^*; \\ k_2(s) \rightarrow \min_{s \in S}; & k_2(s) \leq k_2^*; \\ k_3(s) \rightarrow \max_{s \in S}; & k_3(s) \geq k_3^*; \\ k_4(s) \rightarrow \max_{s \in S}; & k_4(s) \geq k_4^*. \end{cases} \quad (16)$$

де k_1^* , k_2^* , k_3^* , k_4^* – гранично допустимі значення показників витрат на реінжиніринг $k_1(s)$, оперативності $k_2(s)$, надійності $k_3(s)$ та живучості $k_4(s)$.

Суміщені графіки ФКЧК (12) – (15) при $\mu_i = 1$, $i = \overline{1,4}$ та узагальненого критерію (11), що відображають їх характерні властивості на інтервалі $1 \leq u \leq n$, подані на рисунку 2.

Обмеження в моделі (16) на показники витрат $k_1(s', s) \leq k_1^*$, оперативності $k_2(s) \leq k_2^*$, надійності $k_3(s) \geq k_3^*$ і живучості $k_4(s) \geq k_4^*$ можуть суттєво змінювати вихідну множину допустимих розв'язків задачі (10). Шляхом виключення часткових критеріїв і (або) обмежень із моделі (16) можна отримати моделі задач реінжинірингу за одним, двома або трьома частковим критеріями в умовах обмежень на всі або

деякі з показників.

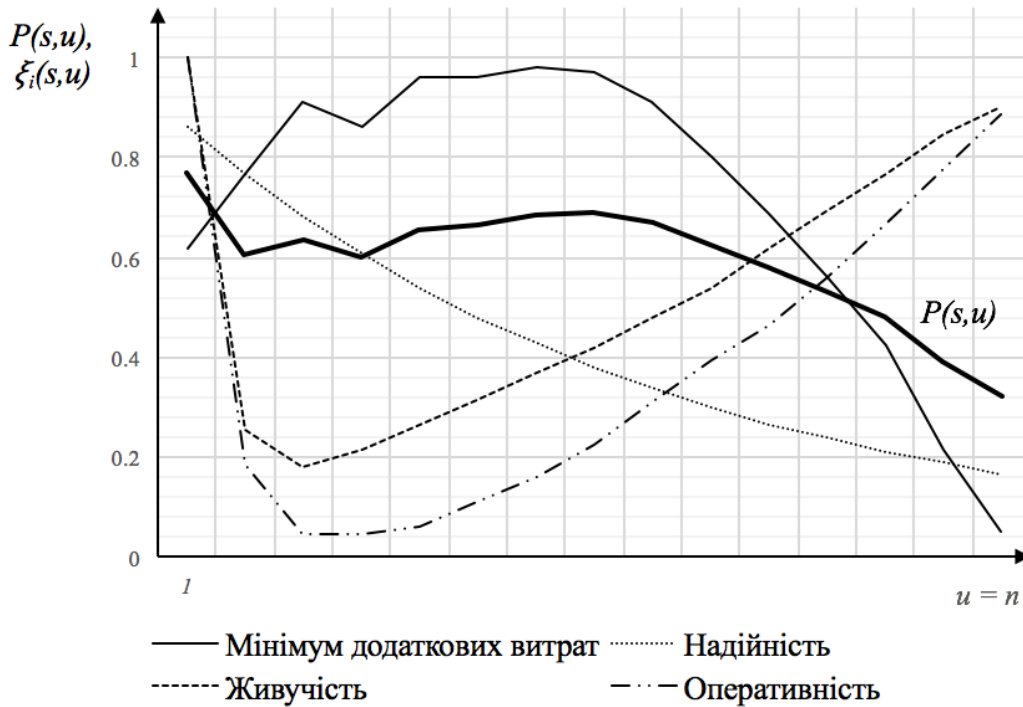


Рисунок 2 – Залежності корисності варіантів за частковими та узагальненим критеріями від кількості вузлів у системі

Основні результати цього розділу опубліковані у роботах [2–4, 13, 14].

У **четвертому розділі** для розв’язання задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу запропоновані модифікації методу спрямованого перебору варіантів за кількістю вузлів у системі.

Проведений аналіз залежностей огинаючих локальних екстремумів функцій часткових критеріїв витрат, оперативності, надійності та живучості (12) – (15) і функцій їхньої корисності від кількості вузлів у системі дозволив виявити їх характерну поведінку (рис. 2).

Встановлено, що всі вони, за винятком $k_1(s', s)$, мають найкращі значення при $u = 1$. На відрізку $1 \leq u \leq n$ ФКЧК оперативності та живучості є однокстремальними, ФКЧК надійності є монотонно спадною, а огинаюча локальних екстремумів ФКЧК витрат може бути багатокстремальною. Це призводить до необхідності для розв’язання задач реінжинірингу топологічних структур систем моніторингу розробки методів, які дозволяють отримувати ефективні розв’язки з урахуванням багатокстремальності функції загальної корисності $P(s)$ (11).

ФКЧК оперативності, надійності і живучості на початковому відрізку $1 \leq u \leq n$ є спадаючими (рис. 2). Для того, щоб існував хоча б один розв’язок задачі (16), необхідно, щоб її обмеження виконувалися хоча б для $u = 1$. В іншому випадку задача (16) не матиме жодного допустимого розв’язку. Будемо вважати, що обрані обладнання та технологія функціонування системи забезпечують виконання обмежень задачі (16) хоча б для незначної множини варіантів.

Тоді для її розв'язання пропонується модифікація методу спрямованого перебору, суть якої полягає у визначенні відрізка $[u_{min}, u_{max}]$, який гарантовано містить оптимальний розв'язок, і пошуку його методом спрямованого перебору шляхом послідовного збільшення кількості вузлів у системі на 1, починаючи з $u_{min} = 1$.

Для визначення верхньої межі u_{max} необхідно визначити мінімум витрат на реінжиніринг для випадку повної заміни компонентів системи $\Delta C_{max}(u)$. Для цього потрібно розв'язати задачу синтезу оптимальної топології без використання компонентів існуючої. Паралельно з цією задачею розв'язується задача реінжинірингу топологічної структури (пошуку максимуму функції загальної корисності $P(s)$ (11) на відріжку $[1, u_{max}]$.

Часова складність кожної із розв'язуваних задач має той же порядок складності, що й відома задача структурно-топологічного синтезу. З огляду на це часова складність запропонованої модифікації базового методу має порядок $2 \cdot O[t(n)]$ (де $t(n)$ – часова складність методу розв'язання задачі структурно-топологічного синтезу), тобто на третину меншу від складності відомого методу розв'язання задачі реінжинірингу топологічних структур територіально розподілених об'єктів.

Точність і складність запропонованих модифікацій базового методу визначається характеристиками методів розв'язання задач розміщення вузлів. Як базова використана модифікація методу, яка реалізує повний перебір можливих варіантів розміщення вузлів, а як альтернативні – побудовані на основі методів покоординатної оптимізації (*COM – coordinate-wise optimization method*), імітації відпалу (*SA – Simulated annealing*), пошуку із заборонами (*TS – Tabu Search*), еволюційного синтезу на базі генетичного алгоритму (*GA – Genetic algorithm*), кластеризації на основі *k-means*.

У процесі дослідження ефективності запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору було розв'язано 60 задач (по 10 задач для $n = 15 \div 40$) та отримані оцінки їхньої точності (похибки) та часової складності (табл. 1, 2). Експерименти проводилися на персональному комп'ютері з процесором *Intel (R) Core (TM) i7-4770* (тактова частота 3.40 ГГц).

Для порівняння точності запропонованих модифікацій методу використаний показник відносної похибки $\delta C' = 100 \cdot |\Delta C - \Delta C'| / \Delta C$, де ΔC – значення показника витрат (5), отримане за методом повного перебору, $\Delta C'$ – значення показника витрат (5), отримане з використанням запропонованої модифікації методу.

Для можливості прогнозування похибок розв'язання практичних задач із використанням запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору $\delta C'(n)$ отримані експериментальні дані (табл. 1) апроксимовані поліномами з достовірністю R :

- *COM*: $\delta C'(n) = 0.0333n - 0.3079, R = 0.99$;
- *SA*: $\delta C'(n) = 0.0885n + 1.9541, R = 0.96$;
- *TS*: $\delta C'(n) = 0.1403n - 1.7694, R = 0.99$;
- *GA*: $\delta C'(n) = 0.0063n^2 - 0.1682n + 3.2777, R = 0.96$;
- *k-means*: $\delta C'(n) = 0.2115n + 2.5691, R = 0.99$.

Для можливості прогнозування часу розв'язання практичних задач із використанням запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору $t(n)$ отримані експериментальні дані (табл. 2) апроксимовані поліномами з достовірністю R :

- *COM*: $t(n) = 0.0014x^3 - 0.0536x^2 + 0.9501x - 6.2088, R = 0.99$;
- *SA*: $t(n) = 0.0001x^3 - 0.0041x^2 + 0.0835x - 0.5786, R = 0.99$;
- *TS*: $t(n) = 0.0007x^3 - 0.0392x^2 + 0.8007x - 5.557, R = 0.99$;
- *GA*: $t(n) = 0.0006x^3 - 0.0247x^2 + 0.3622x - 1.7798, R = 0.99$;
- *k-means*: $t(n) = 0.0002x^3 - 0.0063x^2 + 0.098x - 0.5512, R = 0.99$.

Таблиця 1 – Відносні похибки модифікацій базового методу $\delta C'$, %

n	<i>COM</i>	<i>SA</i>	<i>TS</i>	<i>GA</i>	<i>k-means</i>
15	0.18	3.21	0.27	1.85	5.94
20	0.33	3.56	1.02	2.95	6.49
25	0.56	4.66	1.79	3.11	7.96
30	0.71	4.81	2.58	3.61	8.89
35	0.87	4.95	3.11	4.82	9.95
40	0.99	5.39	3.77	6.84	11.08
$\delta \bar{C}', \%$	0.61	4.43	2.09	3.86	8.38

Таблиця 2 – Час розв'язання задач реінжинірингу t , с

n	<i>COM</i>	<i>SA</i>	<i>TS</i>	<i>GA</i>	<i>k-means</i>
15	0.53	0.07	0.11	0.22	0.10
20	3.02	0.21	0.37	0.71	0.30
25	5.24	0.44	1.37	1.85	0.73
30	11.87	0.83	2.59	3.91	1.54
35	21.34	1.39	5.19	8.14	2.78
40	35.26	2.31	9.78	14.01	4.70
\bar{t}	12.88	0.88	3.24	4.81	1.69

Результати експериментальних досліджень дозволили встановити суттєву відмінність запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору за показниками точності та часової складності (табл. 1, 2). Встановлені залежності $\delta C'(n)$ і $t(n)$ дозволяють обирати найбільш ефективну модифікацію методу для розв'язання практичних задач, виходячи з необхідної точності та наявних обчислювальних і часових ресурсів.

Для зменшення обсягу необхідної комп'ютерної пам'яті та скорочення часу пошуку найкращого розв'язку $s^o \in S$ пропонується формувати множину компромісів паралельно з формуванням початкової множин альтернативних рішень S (10) або множини рішень з урахуванням обмежень моделі (16) на показники витрат $k_1(s', s) \leq k_1^*$, оперативності $k_2(s) \leq k_2^*$, надійності $k_3(s) \geq k_3^*$ і живучості $k_4(s) \geq k_4^*$.

За результатами експериментальних досліджень були отримані оцінки середніх $\delta N(n)$ і максимальних $\delta N_{max}(n)$ відносних потужностей підмножин компроміс-

них рішень S^K у залежності від кількості елементів, що входять до складу системи $\delta N(n) = [Card S^K(n) / Card S(n)] \cdot 100$ (табл. 3) та скорочення часу формування підмножини компромісів δt (табл. 4).

Таблиця 3 – Відносні потужності підмножин компромісних варіантів S^K , %

n	15	20	25	30	35	40
$\delta N(n)$	2.7	0.89	0.19	0.11	0.07	0.009
$\delta N_{max}(n)$	3.4	1.86	0.25	0.15	0.09	0.012

Показники для середніх значень $\delta N(n)$ відносних потужностей підмножин компромісних рішень апроксимуються з достовірністю $R = 0.96$ функцією $\delta N(n) = 56.786 \times e^{-0.21 \cdot n}$.

Таблиця 4 – Відносне скорочення часу формування підмножини S^K , %

n	15	20	25	30	35	40
δt	2.4	4.8	11.6	18.7	25.1	36.2

Дані для середнього відносного скорочення часу формування підмножини компромісів S^K за рахунок розпаралелювання процесу (табл. 4) апроксимуються з достовірністю $R = 0.99$ функцією $\delta t(n) = 0.0299 \cdot n^2 - 0.2918 \cdot n - 0.325$.

Основні результати цього розділу опубліковані в [5 – 7, 15, 16].

У **п'ятому розділі** наведено опис розробленого програмно-методичного комплексу для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу *Reengineering-TS*.

Програмний засіб комплексу є *Windows*-додатком, реалізованим мовою програмування C++ із використанням об'єктно-орієнтованої методології програмування та сучасних підходів до проектування програмних систем. Використання об'єктно-орієнтованої методології дозволило зменшити складність програмного забезпечення, підвищити його надійність, спростити процеси подальшої модифікації його окремих компонентів без зміни інших компонентів із можливістю повторного використання окремих компонентів.

Для візуалізації та документування блоків програмно-методичного комплексу використано UML-діаграми класів. Структурні компоненти програмного засобу об'єднуються у модулі відповідно до їх призначення та виконуваних функцій. У структурі програмного засобу виділено модулі: введення/виведення даних, графічного інтерфейсу, параметричної ідентифікації математичних моделей, оптимізації топологічних структур, моделювання, формування множини компромісів (рис. 3).

У розробленому комплексі програмно реалізовані процедури обчислення значень показників вартості, оперативності, надійності та живучості на основі співвідношень, запропонованих у моделях реінжинірингу топологічних структур. Користувачу надається можливість задати необхідні параметри критеріїв, а також отримати інформацію у вигляді графіків зміни значень характеристик варіантів у залежності від кількості вузлів, що входять до складу топологічної структури.

У модулі оптимізації топологічних структур програмно реалізовані запропо-

новані модифікації методу спрямованого перебору, побудовані на основі методів покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу на базі генетичного алгоритму, кластеризації на основі k-means.

Програмне забезпечення комплексу надає користувачам можливість проведення реінжинірингу топологічних структур систем моніторингу в інтерактивному та автоматичному режимах. Автоматичний режим дозволяє скоротити час на формування й аналіз великої кількості варіантів топологічних структур та виділення підмножини ефективних (Парето-оптимальних) розв'язків. В інтерактивному режимі розроблений програмний засіб надає можливість, виходячи з міркувань проектувальників, змінювати місця розміщення вузлів і схему зв'язків між центром, вузлами та елементами топологічної структури.

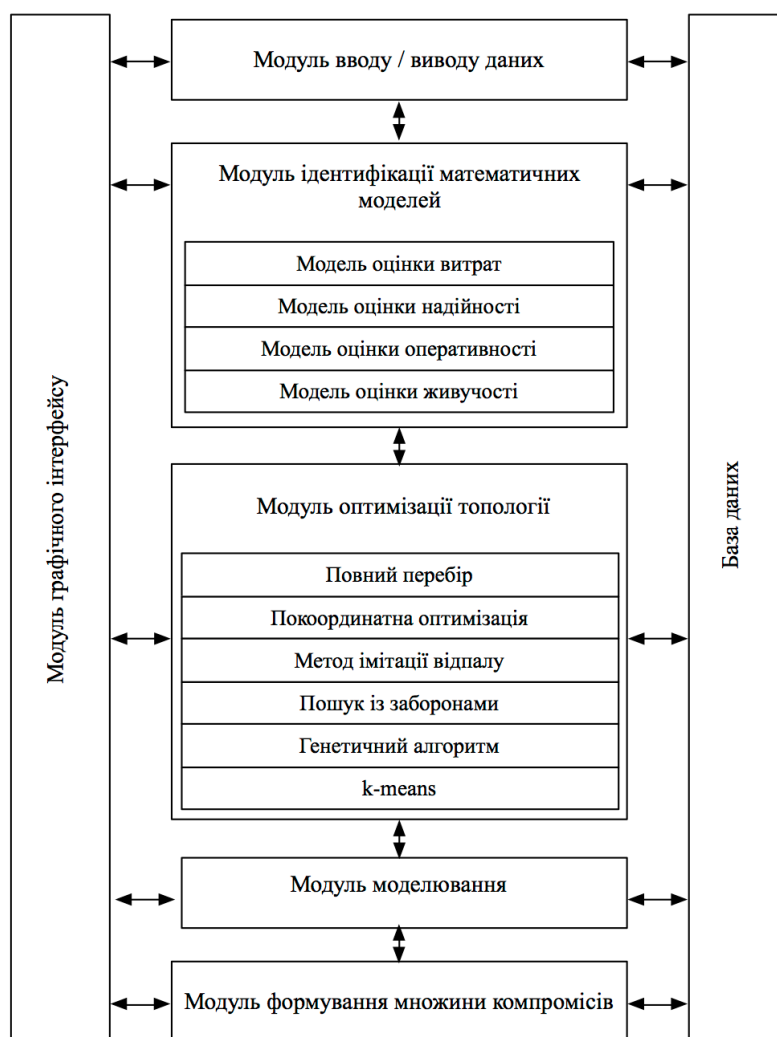


Рисунок 3 – Структура програмного засобу комплексу *Reengineering-TS*

Наведені приклади розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур систем моніторингу підтверджують працездатність і ефективність розроблених математичних моделей, методів і програмного забезпечення.

За допомогою розробленого програмно-методичного комплексу отримані експериментальні результати, які подані у роботах [6, 7, 15, 16].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримано нове рішення науково-технічної задачі підвищення ефективності засобів автоматизації реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу шляхом розробки математичних моделей, методів і програмного забезпечення для розв'язання завдань структурного аналізу і синтезу.

1. У роботі виконано аналіз сучасного стану проблеми оптимізації систем крупномасштабного моніторингу як територіально розподілених об'єктів, у результаті якого встановлено: топологія таких систем багато в чому визначає їх структурні, параметричні, технологічні та вартісні характеристики; з обчислювальної точки зору основні труднощі становлять задачі оптимізації їх структури та топології; у процесі їх реінжинірингу доцільно використовувати інтерактивні ітераційні технології оптимізації; для розв'язання задач реінжинірингу необхідна розробка множини методів, які розрізнятимуться за показниками складності та точності; вибір методу для розв'язання конкретної задачі повинен здійснюватися виходячи з її розмірності, вимог до точності розв'язку та характеристик використовуваних обчислювальних засобів.

2. На основі декомпозиції проблеми структурно топологічного реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу дістала подальшого розвитку її системологічна модель у частині врахування топологічних особливостей проблемно пов'язаних задач, що дозволяє коректно формувати вхідні дані задач у логічних схемах процесів їх оптимізації. На її основі сформульована постановка загальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу за показниками витрат, оперативності, надійності і живучості.

3. Дістала подальшого розвитку шляхом формалізації система часткових критеріїв витрат (у напрямку врахування можливості модернізації та повторного використання наявного обладнання), оперативності, надійності та живучості для задач реінжинірингу централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу з однотипними елементами та зв'язками у вигляді явних залежностей від змінних, що описують їх топологічні структури. Це дозволяє проводити одночасну оцінку ефективності варіантів побудови систем за множиною показників і здійснювати багатofакторний вибір ефективного варіанту.

4. На основі запропонованої формалізації часткових критеріїв уперше розроблена математична модель загальної багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу за показниками витрат, оперативності, надійності та живучості, окремими випадками якої є математичні моделі задач за одним, двома або трьома критеріям. Її використання дозволить отримувати більш ефективні проектні рішення, що враховують множину функціонально-вартісних характеристик і обмежень.

5. У рамках кардиналістичного підходу дістав подальшого розвитку метод

спрямованого перебору варіантів, що дозволяє визначати ефективні розв'язки багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу, у частині врахування показників оперативності, надійності та живучості. Його часова складність на третину нижче, ніж базового методу, що дозволяє з високою точністю розв'язувати задачі більшої розмірності.

6. Розроблено модифікації методу спрямованого перебору для розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу, що використовують схеми розміщення вузлів на основі покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу та кластеризації, які мають істотно менші часові складності, ніж комбінаторні методи; отримані оцінки їх точності та часової складності. Отримані оцінки дозволяють на основі інформації про наявні обчислювальні ресурси та розмірність задачі прогнозувати час і точність її розв'язання та, таким чином, проводити вибір найбільш ефективного методу розв'язання задачі.

7. Розроблені математичні моделі і методи розв'язання задач реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу розширюють методологічну основу систем автоматизації проектування, планування розвитку та реінжинірингу територіально розподілених об'єктів різного призначення. Запропонований метод і його модифікації реалізовані у створеному програмно-методичному комплексі *Reengineering-TS*. Вони апробовані, показали свою працездатність і ефективність на прикладах розв'язання задач за одним або множиною показників.

8. Практичне значення результатів підтверджується їх впровадженням. Результати дисертаційної роботи впроваджені: у держбюджетні науково-дослідні роботи, що виконуються в рамках тематичних планів науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки; у Головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України; в Українському науково-дослідному інституті екологічних проблем; у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки.

9. Практичне використання отриманих результатів дозволяє за рахунок вибору (виходячи з наявних обчислювальних ресурсів і розмірності розв'язуваної задачі) найбільш ефективного методу скоротити витрати на реінжиніринг і максимізувати функціональні характеристики топологічної структури системи. Застосування розроблених модифікацій методу реінжинірингу топологічних структур за результатами розв'язання задач для структур з кількостями елементів від 15 до 40 дозволило скоротити час пошуку розв'язків на 79,95 – 99,99% із середньою похибкою від 0,61 до 8,38 % у залежності від розмірності задачі.

10. Розроблені математичні моделі, методи та програмне забезпечення без істотних змін можуть бути використані при розв'язанні задач синтезу, планування розвитку та реінжинірингу топологічних структур корпоративних інформаційно-обчислювальних мереж, транспорту, зв'язку, виробництва і збуту продукції, управління, інших територіально розподілених об'єктів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бескоровайный В. В. Разработка системологической модели проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №3(75). – С. 37 – 42.

2. Бескоровайный В. В. Разработка модели многокритериальной задачи реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №4(76). – С. 49 – 55.

3. Безкоровайний В. В. Формалізація часткових критеріїв ефективності проектів реінжинірингу систем великомасштабного моніторингу / В.В. Безкоровайний, К.Є. Подоляка // Моделювання процесів в економіці та управлінні проектами з використанням нових інформаційних технологій: монографія / за заг. ред. В.О. Тимофєєва, І.В. Чумаченко. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – С. 181–190.

4. Beskorovainyi V. Reengineering the topological structure of large-scale monitoring systems / V. Beskorovainyi, K. Podoliaka // ECONTechMOD. – 2015. – Vol. 4 (3). – P. 13–18.

5. Бескоровайный В. В. Метод реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14. – № 3. – С. 204–209.

6. Бескоровайный В. В. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В.В. Бескоровайный, К.Е. Подоляка // Радиоэлектроника и информатика. – 2015. – № 3 (70). – С. 55–62.

7. Бескоровайный В. В. Выбор многокритериальных решений при реинжиниринге топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В.В. Бескоровайный, К.Е. Подоляка // Системи обробки інформації. – 2016. – № (142). – С. 80–86.

8. Бескоровайный В. В. Реинжиниринг распределённых баз данных в глобальных системах мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Математичне моделювання та інформаційні технології: тези доп. XI Всеукраїнська науково-технічна конференція, 21 – 23 листопада 2012 р. – Одеса: ОДАХ, 2012. – С. 17.

9. Подоляка К. Е. Реинжиниринг структур систем глобального мониторинга / К. Е. Подоляка // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 18-й международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 14 – 16 апреля 2014 г.: сборник материалов форума. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – С. 13–15.

10. Подоляка К. Е. Проблема реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / К. Е. Подоляка // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 19-й международный молодежный форум «радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 20 – 22 апреля 2015 г.: сб. материалов форума. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 88–89.

11. Подоляка К. Е. Формализация метазадачи реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / К. Е. Подоляка // Праці студентської наукової конференції фізико-технічного факультету Донецького національного університету: зб. наук. праць. – Вінниця: ДонНУ, 2015. – С. 65.

12. Бескоровайный В. В Системологическая модель проблемы реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // XIII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами», Одесса, 14 – 18 сентября 2015 г. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2015. – С. 15–16.

13. Beskorovainyi V. V Mathematical model of multicriteria optimization for project of reengineering large-scale monitoring systems / V. V Beskorovainyi, К. Е. Podoliaka // Международная научно-практическая конференция «Математическое моделирование процессов в экономике и управлении проектами и программами (ММП-2015)», Коблево, 14 – 20 сентября 2015 г. Труды. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 17–21.

14. Бескоровайный В. В Математическая модель для проектов реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Управление проектами: состояние и перспективы: тез. докладов. XI Международная научно-практическая конференция, Харьков, 15–18 сентября 2015 г. – Николаев: НУК. – С. 11 – 13

15. Бескоровайный В.В. Формирование множества эффективных вариантов реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / В.В. Бескоровайный, К.Е. Подоляка // Информационные системы и технологии: тез. докладов. 4-я Международная научно-техническая конференция, Харьков, 21-27 сентября 2015 г. – Х.: НТМТ – С. 36–37.

16. Подоляка К. Е. Метод реинжиниринга топологической структуры систем крупномасштабного мониторинга / К. Е. Подоляка // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 20-й международный молодежный форум «радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 19 – 21 апреля 2016 г.: сб. материалов форума. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – С. 122–123.

АНОТАЦІЯ

Подоляка К.Є. Математичні моделі та методи реінжинірингу топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт. – Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, Харків, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню науково-технічної задачі підвищення ефективності засобів автоматизації проектування топологічних структур систем крупномасштабного моніторингу. У результаті виконання дисертаційного дослідження отримані такі результати: дістала подальшого розвитку системологічна модель проблеми реінжинірингу систем крупномасштабного моніторингу, що до-

зволяє коректно формувати вхідні дані задач у логічних схемах процесів їх оптимізації; дістала подальшого розвитку система часткових критеріїв витрат оперативності, надійності та живучості; уперше розроблена математична модель багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих трирівневих систем крупномасштабного моніторингу за показниками витрат, оперативності, надійності та живучості; дістав подальшого розвитку метод спрямованого перебору варіантів, що дозволяє визначати ефективні розв'язки багатокритеріальних задач реінжинірингу; розроблені модифікації методу спрямованого перебору для розв'язання задач реінжинірингу, що використовують схеми розміщення вузлів на основі покоординатної оптимізації, імітації відпалу, пошуку із заборонами, еволюційного синтезу та кластеризації, які мають суттєво менші часові складності, ніж комбінаторні методи.

Практичне використання отриманих результатів дозволяє за рахунок вибору найбільш ефективного методу (виходячи з наявних обчислювальних ресурсів і розмірності розв'язуваної задачі) скоротити витрати на реінжиніринг і максимізувати функціональні характеристики топологічної структури системи.

Ключові слова: система крупномасштабного моніторингу, автоматизація проектування, структура, топологія, оптимізація, реінжиніринг, часткові критерії, ефективний розв'язок.

АННОТАЦІЯ

Подолька К.Е. Математические модели и методы реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – системы автоматизации проектных работ. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи повышения эффективности средств автоматизации реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга путем разработки математических моделей, методов и программного обеспечения для решения задач структурного анализа и синтеза.

В результате выполненного анализа современного состояния проблемы оптимизации систем крупномасштабного мониторинга как территориально распределенных объектов установлено, что: топология таких систем во многом определяет их структурные, параметрические, технологические и стоимостные характеристики; с вычислительной точки зрения основную трудность составляют задачи оптимизации их структуры и топологии; в процессе их реинжиниринга целесообразно использовать интерактивные итерационные технологии оптимизации; для решения задач реинжиниринга необходима разработка множества методов, различающихся по показателям сложности и точности; выбор метода для решения конкретной задачи должен осуществляться исходя из ее размерности, требований по точности ее решения и характеристик используемых вычислительных средств.

На основе декомпозиции проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга получила дальнейшее развитие ее системологическая модель в части учета топологических особенностей проблемно связанных задач, что позволяет корректно формировать исходные данные задач в логических схемах процессов их оптимизации. На ее основе сформулирована постановка общей задачи реинжиниринга топологических структур централизованных трехуровневых систем крупномасштабного мониторинга по показателям затрат, оперативности, надежности и живучести.

Получила дальнейшее развитие путем формализации система частных критериев затрат (в направлении учета возможности модернизации и повторного использования имеющегося оборудования), оперативности, надежности и живучести для задач реинжиниринга централизованных трехуровневых систем крупномасштабного мониторинга с однотипными элементами и связями в виде явных зависимостей от переменных, описывающих их топологические структуры. Это позволяет производить одновременную оценку эффективности вариантов построения систем по множеству показателей и осуществлять многофакторный выбор эффективного варианта.

На основе предложенной формализации частных критериев впервые разработана математическая модель общей многокритериальной задачи реинжиниринга топологических структур централизованных трехуровневых систем крупномасштабного мониторинга по показателям затрат, оперативности, надежности и живучести, частными случаями которой являются математические модели задач по одному, двум или трем критериям. Ее использование позволит получать более эффективные проектные решения, учитывающие множество функционально-стоимостных характеристик и ограничений.

В рамках кардиналистического подхода получил дальнейшее развитие метод направленного перебора вариантов, позволяющий определять эффективные решения многокритериальной задачи реинжиниринга топологических структур централизованных трехуровневых систем крупномасштабного мониторинга, в части учета показателей оперативности, надежности и живучести. Его временная сложность на треть ниже, чем у базового метода, что позволяет с высокой точностью решать задачи большей размерности.

Разработаны модификации метода направленного перебора для решения задачи реинжиниринга топологических структур централизованных трехуровневых систем крупномасштабного мониторинга, использующие схемы размещения узлов на основе покоординатной оптимизации, имитации отжига, поиска с запретами, эволюционного синтеза и кластеризации, имеющие существенно меньшие временные сложности, чем комбинаторные методы; получены оценки их точности и временной сложности. Полученные оценки позволяют на основе информации об имеющихся вычислительных ресурсах и размерности задачи прогнозировать время и точность ее решения и, таким образом, производить выбор наиболее эффективного метода решения задачи.

Разработанные математические модели и методы решения задачи реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга расширяют методологическую основу систем автоматизации проектирования, планирования развития и реинжиниринга территориально распределенных объектов различного

назначения. Предложенный метод и его модификации реализованы в созданном программно-методическом комплексе Reengineering-TS. Они апробированы, показали свою работоспособность и эффективность на примерах решения тестовых задач реинжиниринга систем мониторинга по одному или множеству показателей. Практическое значение результатов подтверждается их внедрением.

Практическое использование полученных результатов позволяет за счет выбора (исходя из имеющихся вычислительных ресурсов и размерности решаемой задачи) наиболее эффективного метода сократить затраты на реинжиниринг и максимизировать функциональные характеристики топологической структуры системы. Применение разработанных модификаций метода реинжиниринга топологических структур позволяет существенно сократить время поиска решения с относительно небольшими погрешностями, размер которых зависит от размерности решаемой задачи.

Ключевые слова: система крупномасштабного мониторинга, автоматизация проектирования, структура, топология, оптимизация, реинжиниринг, частичные критерии, эффективное решение.

ABSTRACT

K.E. Podoliaka. Mathematical models and methods of reengineering topological structures of large-scale monitoring systems. – Manuscript.

The thesis for the candidate's degree of technical science in a speciality 05.13.12 – Aided design systems. – Kharkiv National University of of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The thesis is devoted to solving scientific and technical problem of improving the efficiency of design automation topological structures of large-scale monitoring systems.

As a result of dissertation: received further development of systemology model for reengineering problems of large-scale monitoring system, that allows to form input task data correctly in logic circuits process of optimization; received the further development of the system of particular criteria of cost efficiency, reliability and survivability; first developed a mathematical model of multicriteria task of reengineering topological structure for centralized three-level large-scale monitoring systems in terms of cost, efficiency, reliability and survivability; has been improved method of directional sorting options, allowing you to identify effective solutions multi tasks reengineering; has been developed the modifications of the method aimed enumeration to solve problems of reengineering using the layout nodes based on coordinate-wise optimization method, Simulated annealing, Tabu search, evolutionary synthesis and clustering, which have significantly less time complexity than combinatorial methods.

Practical use of the results allows to choice (based on available computing resources and the dimension of the problem being solved) the most effective method of reducing the cost of reengineering and maximization of the functional characteristics of the topological structure of the system.

Keywords: large-scale monitoring system, computer aided design, structure, topology, optimization, reengineering, particular criteria, effective solution.