

УДК 004.78;004.891.2;007.3

DOI: 10.32626/2308-5916.2020-21.102-113

**О. Є. Коваленко**, канд. техн. наук,**В. Л. Косолапов**, канд. техн. наук

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ

## МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕРЕЖІ РОЗПОДІЛЕНИХ СИТУАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ

У статті обґрунтовано актуальність створення та сформульовано математичну постановку задачі забезпечення технічної інтероперабельності в мережі розподілених ситуаційних центрів на основі конвергентних технологічних рішень. Технічна інтероперабельність розглядається в контексті оптимізації розподілу завдань ситуаційного управління між окремими ситуаційними центрами в розподіленій мережі та мінімізації часу обробки інформації. Для цього запропоновано модель та алгоритми оптимізації виконання завдань учасниками процесу ситуаційного управління в мережі розподілених ситуаційних центрів. Модель оптимізації технічної інтероперабельності представлена у формі задачі булевого цілочисельного програмування з пошуком локального екстремуму цільової функції. Інформаційно-аналітичний процес формується як запит, який визначає потребу в інформаційних ресурсах, аналітичних та експертних спроможностях та часі обслуговування в кожному локальному ситуаційному центрі. Задача оптимізації завантаження мережі розподілених ситуаційних центрів полягає у перерозподілі навантаження між вузлами мережі шляхом вирівнювання використання організаційних, людських, технічних та інформаційних ресурсів для своєчасного та якісного прийняття рішень в ситуаційних центрах, які обслуговують учасників процесу ситуаційного управління на різних рівнях. Задача мінімізації часу обслуговування в мережі розподілених ситуаційних центрів є двоїстою до задачі перерозподілу навантаження і розв'язується з використанням стохастичного квазіградієнтного методу проєкції. Розроблені алгоритми розв'язання сформульованих задач та наведено тестовий приклад застосування. Показано потенціал подальшого вдосконалення ситуаційних систем управління стратегічним плануванням на основі управління спроможностями цільових систем.

**Ключові слова:** *система ситуаційного управління, мережа розподілених ситуаційних центрів, конвергентна система, технічна інтероперабельність, оптимізація систем.*

**Вступ.** Актуальною проблемою розвитку інформаційних технологій та систем є проблема створення *мережі розподілених ситуаційних центрів* (МРСЦ) на основі конвергентних технологічних рішень. У зв'язку з цим особливого значення набуває розвиток інформаційних

сервісів інформаційно-аналітичних систем на базі МРСЦ для підтримки та прийняття рішень на різних рівнях державного управління. Розробка та впровадження на практиці мережі ситуаційних центрів (СЦ) є невід'ємною складовою створення ефективних систем для вирішення завдань державного управління різної складності.

Стандарт ISO/IEC 10746 [1] визначає основні поняття, необхідні для опису еталонної моделі систем відкритої розподіленої обробки (EMCBPO, Reference Model of Open Distributed Processing (RM-ODP) Systems.) з п'яти встановлених точок зору. Цей стандарт забезпечує ґрунтовний базис для структуризації специфікацій широкомасштабних розподілених систем.

Еталонна модель для опису системи, що пропонується ISO/IEC 10746, включає чотири основні елементи:

- об'єктно-модельний підхід до специфікації системи;
- специфікацію системи в термінах окремих, але взаємопов'язаних специфікацій з певних точок зору;
- визначення системної інфраструктури, що забезпечує прозорість поширення (дистрибуції) системних додатків;
- шаблон (модель) для оцінки відповідності системи.

Концепція RM-ODP встановлює п'ять загальних та взаємодоповнюючих точок зору на систему та її середовище:

- точка зору на організацію, яка фокусується на призначенні, обсязі та політиці системи і описує вимоги діяльності та шляхи їх виконання;
- точка зору інформації, яка зосереджена на семантиці інформації та виконаній обробці інформації і описує інформацію, якою керує система, та структуру та тип вмісту допоміжних даних;
- обчислювальна точка зору, яка, шляхом функціональної декомпозиції, дозволяє розділити систему на об'єкти, що взаємодіють між собою через інтерфейси, і описує функціональність, що надається системою, та її функціональну декомпозицію;
- інженерна точка зору, яка фокусується на механізмах та функціях, необхідних для підтримки розподіленої взаємодії між об'єктами в системі і описує розподіл обробки, що виконується системою для управління інформацією та забезпечення функціональності;
- технологічна точка зору, яка фокусується на виборі технології системи і описує технології, обрані для забезпечення обробки, функціональності та представлення інформації.

У контексті стандарту ISO/IEC 10746 поняття інтероперабельності визначається як здатність об'єктів до взаємодії (співпраці), тобто здатність взаємно передавати інформацію для обміну подіями, пропозиціями, запитами, результатами, зобов'язаннями та потоками [2].

При впровадженні інформаційно-аналітичного процесу обробки інформації під час підготовки альтернатив та прийняття рішень у МРСЦ

виникає завдання управління послідовністю потоків обробки інформації та управління таким чином, щоб система СЦ, пов'язана з вирішенням однієї проблеми, могла забезпечити необхідний рівень інтеперабельності технологій інформаційного, аналітичного та експертного обслуговування учасників процесів ситуаційного управління (УПСУ) з мінімальними витратами часу. Множина УПСУ включає експертів, аналітиків, осіб, які приймають рішення, та інших зацікавлених сторін та осіб. Інформаційно-аналітичний процес ситуаційного управління формується у вигляді застосунку, що визначає потребу в інформаційних ресурсах та вимоги до аналітичних та експертних спроможностей, а також часових обмежень обслуговування запитів окремими СЦ. Конвергентний підхід передбачає композицію гетерогенних компонентів в єдиній системі [3], забезпечуючи дотримання 12 основних принципів інтеперабельності [4]:

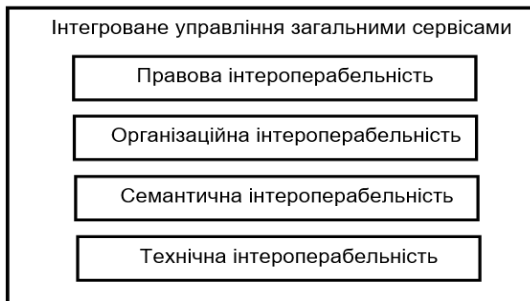
- 1) субсидіарність (виконання дій в рамках кооперації на основі оцінювання їх обґрунтованості з точки зору наявних *спроможностей* на відповідних рівнях, тобто керівний орган повинен виконувати допоміжну функцію, виконуючи лише ті завдання, які неможливо виконати на більш локальному рівні) та пропорційність;
- 2) відкритість;
- 3) прозорість;
- 4) повторне використання;
- 5) технологічна нейтральність та можливість взаємодії з даними;
- 6) орієнтація на користувача;
- 7) включність (інклюзивність) та доступність;
- 8) безпека та конфіденційність;
- 9) багатомовність;
- 10) спрощення адміністрування;
- 11) збереженість інформації;
- 12) оцінка продуктивності та ефективності.

Ці основні принципи поділяються на наступні 4 категорії:

- принцип, що встановлює контекст для заходів управління щодо інтеперабельності (1-й принцип);
- основні принципи взаємодії (принципи 2-5);
- принципи, що стосуються загальних потреб та очікувань користувачів (принципи 6-9);
- фундаментальні принципи співробітництва між адміністративними органами (принципи 10-12).

Проблема ефективного розподілу завдань в мережі автоматизованих комп'ютерних систем (АСУ) була розглянута в різний час в роботах В. М. Глушкова [5], А. О. Морозова [6] та інших авторів. МРСЦ — це розвиток та узагальнення концепції мережі АСУ у сучасних умовах. Одним із ключових механізмів ефективного функціонування МРСЦ є забезпечення інтеперабельності між його складовими.

Відповідно до визначення інтерооперабельності у стандарті ISO/IEC 24765 [2] та європейської моделі інтерооперабельності (European Interoperability Framework, EIF), прийнятого в ЄС [4], базовим рівнем інтерооперабельності є технічна інтерооперабельність (рис. 1).



*Рис. 1. Чотири рівні інтерооперабельності*

На основі EIF [4] була розроблена Європейська еталонна архітектура інтерооперабельності (EIRA) [7]. Різні аспекти інтерооперабельності були розглянуті в роботах [8-12].

**Формальна постановка задачі.** Розглядається гетерогенна мережа СЦ. Нехай  $M$  — множина користувачів (УПСУ) МРСЦ;  $n$  кількість СЦ (в нашому випадку,  $|M| > n$ , тобто, багатокористувальницькі та різні за змістом вузли моніторингу та аналізу інформації, що обробляється (економічна, екологічна, військова тощо);  $c_k$  оцінка інформаційних потреб  $k$ -го ( $k \in M$ ) користувача;  $R_i$  оцінка пропускнуої здатності  $i$ -го СЦ з МРСЦ;  $P_{ij}$  — потік перерозподілу інформації між  $i$ -м та  $j$ -м СЦ ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) в МРСЦ;  $q$  — максимально допустимий потік інформації між двома СЦ.

Введемо змінну

$$x_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k\text{-й користувач обслуговується у } i\text{-му СЦ з МРСЦ, } i = 1, \dots, n \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Формалізована модель фактичного завантаження  $H_i$   $i$ -го СЦ ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) в МРСЦ в процесі обслуговування користувачів має вид:

$$H_i = \max_i \sum_{k \in M} c_k x_{ki} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{k \in M} c_k x_{ki} \leq R_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^n x_{ki} \leq 1, k \in M, \quad (3)$$

$$P_{ij}(x_{ki}, x_{kj}) \leq q; k \in M; i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Умова (2) виражає обмеження на інформаційну пропускну здатність  $i$ -го СЦ, умова (3) — це вимога обов'язкового обслуговування всіх користувачів (УПСУ) та належність користувача до групи обслуговування локальним СЦ, умова (4) регулює потоки послуг між користувачами (УПСУ) МРСЦ.

Задача представлена співвідношеннями (1)-(4) — це задача булевого цілочисельного програмування. Для розв'язання задачі (1)-(4) запропоновано алгоритм, який реалізує метод пошуку з локальною оптимізацією [13], що дозволяє отримати розв'язок задачі (1)-(4) з прийнятною точністю для практичної роботи МРСЦ.

**Модель оптимізації завантаження МРСЦ.** Розглянемо проблему обслуговування УПСУ в розподіленій системі, яка може складатися з декількох локальних (регіональних) СЦ і спрямована на вирішення різних за змістом проблем. Як правило, при організації взаємодії кількох СЦ проводяться відповідні експертні оцінювання та розрахунки їх завантаження з метою своєчасного забезпечення потреб УПСУ. Однак з часом завантаженість може суттєво змінюватися (наприклад, через появу нових завдань та управлінських потоків інформації), і спроможності МРСЦ перестають відповідати вимогам УПСУ стосовно часу обробки та кількості запитів. Задача полягає в тому, щоб перерозподілити навантаження МРСЦ для забезпечення рівномірного навантаження на організаційні, людські, технічні та інформаційні ресурси і своєчасного та якісного прийняття рішень в СЦ, які обслуговують УПСУ на різних рівнях.

Вихідні умови для розв'язання задачі (1)-(4) формуються у вигляді матриці  $A$ . Рядки матриці являють собою оцінку інформаційних потреб УПСУ, які обслуговуються у МРСЦ. Стовпці матриці  $A$  — це фактичне завантаження МРСЦ, тобто  $H_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Алгоритм вирішення проблеми обслуговування клієнтів у МРСЦ складається з п'яти кроків.

*Крок 1.* Якщо всі стовпці матриці  $A$  переглянуті, переходимо до кроку 5. В іншому випадку виконуємо такі дії. При аналізі в матриці  $A$  шукаємо стовпчик з максимальною сумою рядків, тобто з максимальним завантаженням конкретного СЦ. Нехай таким стовпцем буде стовпець  $i$ . Наступним кроком є закріплення області з трьох стовпців  $i, i + 1, i - 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Якщо  $i + 1$  або  $i - 1$  не існують (для кінцевих елементів), тоді стовпець та його окіл будуть усічені.

*Крок 2.* У  $i$ -му стовпці ненульовий елемент  $c_k x_{ki}$  і перевіряється можливість зсуву цього елемента вправо або вліво відповідно до умов (2)-(4). Якщо такі зсуви можливі, то вони виконуються. Для запам'ятовування переміщень елементів матриці  $A$  на наступному кроці алгоритму (з метою визначення можливих переміщень на наступному кроці) вводимо допоміжну матрицю  $B$ , елементами якої є числа з множини  $(-1, 0, 1)$ . Початкові значення елементів матриці рівні 0.

При переміщенні елемента  $c_k x_{ki}$  до розміщення елемента  $c_k x_{ki-1}$ , елемент  $e_{ki}$  матриці  $B$  приймає значення  $-1$ ; при переміщенні  $c_k x_{ki}$  до розміщення  $c_k x_{ki+1}$  елемент  $e_{ki}$  приймає значення  $+1$ ; інакше значення елемента  $e_{ki}$  залишається рівним  $0$ . Якщо наступні ітерації алгоритму потребують зсуву деякого елемента  $-c_k x_{ki-1}$  матриці  $A$  на місце елемента  $c_k x_{ki}$ , і елемент  $-e_{ki}$  матриці  $B$  отримує значення  $-1$ , що також вимагає переміщення елемента  $-c_k x_{ki+1}$  матриці  $A$  до розміщення елемента  $c_k x_{ki}$ , а елемент  $-e_{ki}$  матриці  $B$  стає рівним  $+1$ , то ці переміщення не робляться і переходять до ряду  $k + 1$  матриці  $A$ .

*Крок 3.* На цьому кроці перевіряється, який із трьох варіантів (оригінал та два отримані) дає найкращий результат за критерієм (1). Якщо зміщення було можливе лише вліво або лише вправо, то обидва варіанти, і початковий і отриманий, підлягають верифікації. Якщо на  $m$ -й ітерації виявиться, що  $H^m = H^{m-1}$ , то процес завершується і  $H^m$  приймається як наближений розв'язок для стовпця  $i$ . Відповідні зміни вносяться в матрицю  $A$ , матрицю  $B$  і вектор  $H = \{H_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Таким чином,  $i$ -й стовпець виключається з розгляду і переходимо до кроку 1 алгоритму. В іншому випадку виконується крок 4.

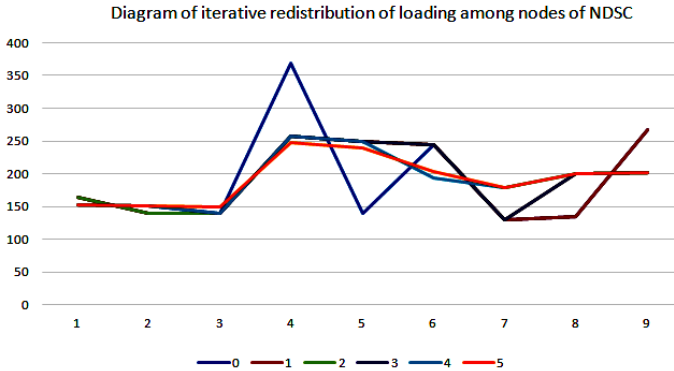
*Крок 4.* Переходимо до рядка  $k + 1$  матриці  $A$  та кроку 2 алгоритму. Якщо всі рядки були переглянуті, то процес закінчується, значення  $H_i^k$  приймається як наближене рішення для задачі з розв'язаним стовпцем  $i$  і відповідні зміни вносяться в матрицю  $A$ , матрицю  $B$  і вектор  $H = \{H_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Таким чином,  $i$ -й стовпець виключається з розгляду і виконується крок 1 алгоритму.

*Крок 5.* Після перегляду всіх стовпців матриці  $A$  розв'язок задачі (1)-(4) завершується. Отримано нову розмітку для обробки запитів користувачів локального СЦ.

Вищенаведений алгоритм розв'язку задачі (1)-(4) обслуговування УПСУ в МРСЦ є скінченим завдяки кінцевій кількості СЦ в мережі.

Результати алгоритму перерозподілу завантаження між 9 вузлами МРСЦ для перших 5 ітерацій представлені на рис. 2. Номер графіка на діаграмі відповідає номеру ітерації. Горизонтальна вісь показує номери вузлів МРСЦ, вертикальна вісь відображає об'єм номінального потоку інформації, який слід обробити протягом регламентованого проміжку часу, для прийняття окремого рішення стосовно заданої проблеми.

Таким чином, алгоритм розв'язку задачі (1)-(4) оптимізації завантаження МРСЦ на основі методу булевого програмування дозволяє якісно підвищити рівень інформаційного обслуговування користувачів у МРСЦ і тим самим підвищити ефективність його функціонування. Цей приклад є прототипом моделі обслуговування УПСУ в МРСЦ на основі запитів експертів у цільових областях ситуаційного управління, що здійснюються в розподілених інформаційних середовищах.



**Рис. 2.** Результати виконання 5 ітерацій перерозподілу завантаження для МРСЦ з 9 вузлами

**Модель мінімізації часу обслуговування в МРСЦ.** При здійсненні інформаційно-аналітичного процесу обробки інформації при завантаженні відповідного СЦ виникає задача управління послідовністю обробки інформаційних та керуючих потоків, завдяки чому комплекс СЦ забезпечує максимальну ефективність інформаційного, аналітичного та експертного обслуговування користувачів (УПСУ) з мінімальними витратами часу [7]. Така задача є двоїстою до прямої задачі, обговореної вище. Інформаційно-аналітичний процес ініціюється як запит, що визначає потребу в інформаційних ресурсах, аналітичних та експертних спроможностях, які надаються впродовж певного часу обслуговування в кожному локальному СЦ. Така задача формулюється наступним чином.

Розглянемо спільні розподілені інформаційні ресурси МРСЦ, які існують в  $n$  СЦ  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , які можуть надавати різні інформаційні, аналітичні, експертні чи прогнозні сервіси. Система СЦ виконує деякий запит на використання інформаційного, аналітичного чи експертного сервісу для УПСУ. Запит вважається обслуговуваним, якщо він обслуговується кожним локальним СЦ послідовно, починаючи з СЦ  $A_1$ . Припустимо, що час обслуговування запиту в  $i$ -му СЦ є незалежною випадковою величиною з функцією розподілу  $F^i(t)$  та щільністю розподілу  $\varphi_i(t) = F^i(t)$ . Система працює так. Запит обслуговується в СЦ  $A_1$  одразу після його надходження. На момент надходження запиту до СЦ  $A_2$  можливі два варіанта:

- 1) запит був обслугований у СЦ  $A_1$  раніше ніж у залученому до обслуговування СЦ  $A_2$  і очікує відповіді від СЦ  $A_2$ . За затримку обслуговування запиту накладається певний штраф;
- 2) запит був обслугований у СЦ  $A_1$  пізніше ніж запит було надіслано до СЦ  $A_2$ , тобто, СЦ  $A_2$  чекає завершення обслуговування запиту в

СЦ  $A_1$ . У такому випадку за затримку СЦ  $A_2$  накладається штраф. В такому випадку здійснюється взаємодія між іншими СЦ.

Очевидно, що штраф  $f_i$  є випадковою величиною. Необхідно визначити такі моменти  $x_1, x_2, \dots, x_n$  підключення СЦ  $A_2, A_3, \dots, A_n$ , коли математичне сподівання загального штрафу, який дорівнює сумі накладених штрафів через невідповідність моментів  $x_i$  підключення  $i$ -го СЦ моментам  $\eta_{i-1}$  припинення обслуговування запиту в  $i$ -му СЦ, буде мінімальним.

Нехай  $\alpha$  — питома вартість простою запиту, а  $\beta$  — питома вартість простою СЦ. Тоді штрафні санкції пов'язані з розбіжністю між моментами  $x_i$  підключення та моментами  $\eta_{i-1}$  завершення обслуговування запиту користувача в  $(i - 1)$ -му СЦ визначається як:

$$f_1(\eta_1, x_2) = \begin{cases} \alpha(x_2 - \eta_1), \eta_1 \leq x_2, \\ \beta(\eta_1 - x_2), \eta_1 \geq x_2, \end{cases} \quad (5)$$

де  $\eta_1 = \tau_1$ ,

$$f_2(\eta_2, x_3) = \begin{cases} \alpha(x_3 - \eta_2), \eta_2 \leq x_3, \\ \beta(\eta_2 - x_3), \eta_2 \geq x_3, \end{cases} \quad (6)$$

де  $\eta_2 = \max(\eta_1, x_2) + \tau_2$ ,

$$f_{n-1}(\eta_{n-1}, x_n) = \begin{cases} \alpha(x_n - \eta_{n-1}), \eta_{n-1} \leq x_n, \\ \beta(\eta_{n-1} - x_n), \eta_{n-1} \geq x_n, \end{cases} \quad (7)$$

де  $\eta_{n-1} = \max(\eta_{n-2}, x_{n-1}) + \tau_{n-1}$ ,

$$Mf_1(\eta_1, x_2) = (\alpha + \beta) \int_0^{x_2} F(u_1) du_1 + \beta(M_{\tau_1} - x_2), \quad (8)$$

$$Mf_2(\eta_2, x_3) = (\alpha + \beta) \int_{x_2}^{x_3} \left( \int_{x_2}^{u_3} F(u_1) \varphi_2(u_2 - u_1) du_1 + \beta(M_{\tau_1} - x_2) \right) du_2 + \\ + \beta \left( M_{\tau_1} + M_{\tau_2} + \int_0^{x_2} F(u_1) du_1 - x_3 \right), \quad (9)$$

$$Mf_3(\eta_3, x_4) = (\alpha + \beta) \int_{x_3}^{x_4} \left( \int_{x_3}^{u_3} \left( \int_{x_2}^{u_2} F(u_1) \varphi_2(u_2 - u_1) du_1 \right) \varphi_3(u_3 - u_2) du_2 \right) du_3 + \\ + \beta \left( M_{\tau_1} + M_{\tau_2} + M_{\tau_3} + \int_0^{x_2} F(u_1) du_1 + \int_{x_2}^{x_3} \left( \int_{x_2}^{u_2} F(u_1) \varphi_2(u_2 - u_1) du_1 \right) du_2 - x_4 \right), \quad (10)$$



$$\begin{aligned}
 Mf_{n-1}(\eta_{n-1}, x_n) = & (\alpha + \beta) \int_{x_{n-1}}^{x_n} \left( \dots \left( \int_{x_2}^{u_2} F(u_1) \varphi_2(u_2 - u_1) du_1 \right) \dots \right) du_{n-1} + \\
 & + \beta \left( M_{\tau_1} + \dots + M_{\tau_n} + \int_0^{x_2} F(u_1) du_1 + \right. \\
 & \left. + \int_{x_{n-2}}^{x_{n-1}} \left( \dots \left( \int_{x_2}^{u_2} F(u_1) \varphi_2(u_2 - u_1) du_1 \right) \dots \right) du_{n-2} - x_n \right). \quad (11)
 \end{aligned}$$

Загальний штраф визначається за формулою

$$F(x) = \sum_{i=2} Mf_{i-1}(\eta_{i-1}, x_i). \quad (12)$$

Використання класичного підходу для мінімізації функції  $F(x)$  вимагає обчислення множинних інтегралів і значень випадкового розподілу  $F_i(t)$  за відповідними законами, що не завжди можливо. Однак ці труднощі можна усунути, використовуючи методи стохастичного програмування [14], з точки зору яких переформулюємо задачу. Задача, у новій постановці, полягає у пошуку мінімуму функції

$$F(x) = Mf(\eta, x) \quad (13)$$

за умов

$$x_i + 1 \geq x_i \geq 0, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (14)$$

де

$$f(\eta, x) = \alpha \sum_{i \in I} (x_i - \eta_{i-1}) + \beta \sum_{j \in J} (\eta_{j-1} - x_j), \quad (15)$$

причому

$$\eta_i = \max(\eta_{i-1}, x_i) + \tau_i, \quad i = 2, 3, \dots, n.$$

Зуважимо, що функція (15) опукла відносно  $x_i$  для фіксованих  $\eta_{i-1}$ .

Задача у постановці (13)-(15) є окремим випадком задачі стохастичного програмування. Для її розв'язання може бути використаний стохастичний квазіградієнтний метод проекції [14], який описується процедурою

$$x_i^{s+1} = \pi_x(x^s - \rho_s W_i^s), \quad s = 0, 1, \dots, i; \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (16)$$

де  $s$  — номер ітерації;  $X$  — область проекції, що задовольняє обмеженням (14);  $\pi_x(\bullet)$  оператор, що відображає кожную точку  $x \in R^n$  у точку  $\pi_x(x) \in X$  так, що  $\|x - \pi_x(x)\|^2 \leq \|y - x\|^2$  для будь-якого  $y \in X$ ;  $\rho_s$  коефіцієнт (множник) кроку;  $W_i^s$  випадковий вектор такий, що

$M(W_i^s | x_i^0, x_i^1, \dots, x_i^s) = F_x^A(x_i^s), s = 0, 1, \dots, i; i = 2, \dots, n$ , де  $F_x^A(x_i^s)$  — градієнт (узагальнений градієнт) функції  $F(x)$ . Послідовність  $\{x_i^s\}, s = 0, 1, \dots, i$ , визначена процедурою (16), збігається з ймовірністю 1 до розв'язку задач (13), (14).

Обчислювальна схема вирішення задачі формулюється наступним чином. Нехай  $x^s$  отримано на  $s$ -й ітерації (початкове значення  $x^0$  задається). Потрібно зробити наступні кроки для отримання  $(s + 1)$ -го наближення.

*Крок 1.* Спостерігаємо реалізацію  $x_i^s$  значення  $x_i$ .

*Крок 2.* Обчислюємо вектор  $W_i^s$ .

*Крок 3.* В результаті виконання операції проєкції на область  $X = \{x_i : x_i \geq x_{i-1} \geq 0\}$ , наступне наближення визначається як:

$$x_i^{s+1} = \max\left(0, \max\left(x_{i-1}^s; x_i^s - \rho_s W_i^s\right)\right), s = 0, 1, \dots, i; i = 2, 3, \dots, n.$$

Наведений вище алгоритм легко реалізувати і він не залежить від виду закону розподілу випадкового часу обслуговування запитів УПСУ.

Використання значення згладженого середнього

$$Z^{s+1} = Z^s + 1/W^s \left( f(\eta^s, x^s) - Z^s \right)$$

дає оцінку математичного сподівання випадкової функції  $f(\eta^s, x^s)$ .

**Висновки.** Запропоновані моделі дозволяють вирішити проблеми технічної інтероперабельності з точки зору забезпечення ефективного завантаження та мінімізації часу обслуговування запитів користувачів у розподілених інформаційних системах шляхом розв'язання прямої та двоїстої задач математичного програмування.

Для розв'язання прямої задачі обґрунтовано використання методу булевого програмування та запропоновано алгоритм його реалізації. Для розв'язання двоїстої задачі обґрунтовано використання методу стохастичного програмування та запропоновано алгоритм його реалізації. Алгоритм управління завантаженням СЦ, є інструментом управління МРСЦ, що забезпечує ефективне надання інформаційних, аналітичних та експертних послуг УПСУ з мінімізацією часу обробки інформації.

Запропоновані моделі підтримки технічної інтероперабельності та алгоритми управління інформаційно-аналітичним середовищем МРСЦ створюють підґрунтя для подальшого вдосконалення систем ситуаційного управління на основі оптимізації використання ресурсів і сервісів МРСЦ.

#### Список використаних джерел:

1. ISO/IEC 10746-2:2009. Information technology. Open distributed processing. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/55723.html>.

2. ISO/IEC 24765:2017. Systems and Software Engineering. Vocabulary. URL:<https://www.iso.org/standard/71952.html>.
3. Коваленко О. Є. Композиційна конвергенція інформаційних технологій у системах ситуаційного управління на основі моделі знань предметної області. *Математичне моделювання в економіці*. 2019. Т. 16. №2. С. 39-44. DOI: 10.35350/2409-8876-2019-15-2-40-45.
4. New European Interoperability Framework (EIF). ISA<sup>2</sup>. Interoperability solutions for public administrations, businesses and citizens. URL: [https://ec.europa.eu/isa2/eif\\_en](https://ec.europa.eu/isa2/eif_en), [https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif\\_brochure\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif_brochure_final.pdf).
5. Глушков В. М. Введение в АСУ 2-е изд., испр. и доп. Киев : Техника, 1972. 320 с.
6. Морозов А. О., Косолапов В. Л., Отришко О. В. Засоби інформаційного сервісу об'єктів інтелектуальної власності. *Математичні машини і системи*. 2002. № 3. С. 136-147.
7. European Interoperability Reference Architecture (EIRA). ISA<sup>2</sup>. Interoperability solutions for public administrations, businesses and citizens. URL: <https://joinup.ec.europa.eu/asset/eia/description>.
8. Koulou A., Zemzami M., El Hami N., Elmir A., Hmina N. Optimization in collaborative information systems for an enhanced interoperability network. *Int. J. Simul. Multidisci. Des. Optim.* 2020. Vol. 11, 2. DOI: 10.1051/smdo/2019021.
9. Leal G., Guedria W., Panetto H. A semi-automated system for interoperability assessment: an ontology-based approach. *Enterprise Information Systems*. 2020. Vol. 14 (3). P. 308-333. DOI: 10.1080/17517575.2019.1678767.
10. Guédria W., Naudet Y., Chen D. Maturity Model for Enterprise Interoperability. *Enterprise Information Systems*. 2015. Vol. 9 (1). P. 1-28. DOI: 10.1080/17517575.2013.805246.
11. Gabriel da Silva Serapião Leal, Wided Guédria, Hervé Panetto. Interoperability Assessment: A Systematic Literature Review. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 106. P. 111-132. DOI:10.1016/j.compind.2019.01.002.
12. Khisro J., Sundberg H. Enterprise interoperability development in multi relation collaborations: Success factors from the Danish electricity market. *Enterprise Information Systems*. 2018. DOI: 10.1080/17517575.2018.1528633.
13. Забродский В. А., Скурихин В. И. Оптимизация функционирования АСУ предприятием. Киев; Донецк: Вища школа, 1978. 136 с.
14. Ермольев Ю. М. Методы стохастического програмування. М.: Наука, 1976. 239 с.

## MODELS OF OPTIMIZATION OF LOADING OF THE NETWORK OF DISTRIBUTED SITUATIONAL CENTERS

The article substantiates the relevance of the creation and formulates a mathematical statement of the problem of technical interoperability maintenance in a network of distributed situational centers based on convergent technological solutions. Technical interoperability is considered in the context of optimizing the distribution of situational management tasks between individual situation centers in a distributed network and minimizing information processing time. For this purpose the model and algorithms of optimization of performance of tasks by participants of process of situational management in a network of the distributed situational centers are offered. The model of tech-

nical interoperability optimization is presented in the form of a zero-one integer programming problem with the search for the local extremum of the objective function. The information-analytical process is formed as a request that determines the need for information resources, analytical and expert capabilities and service time in each local situation center. The task of optimizing the load of the network of distributed situational centers is to redistribute the load between network nodes by equalizing the use of organizational, human, technical and information resources for timely and quality decision-making in situational centers that serve participants in situational management at different levels. The problem of minimizing service time in a network of distributed situational centers is dual to the primal problem of load redistribution and is solved using a stochastic quasigradient projection method. Algorithms for solving the formulated problems are developed and a test example of application is given. The potential for further improvement of situational systems of strategic planning management based on capability management for target systems is shown.

**Keywords:** *system on situational management, network of distributed situational centers, convergent system, technical interoperability, system optimization.*

Отримано: 16.09.2020

УДК 004.942:621.3.047.42

DOI: 10.32626/2308-5916.2020-21.113-125

**О. О. Ситник**, д-р техн. наук, професор,

**К. М. Ключка**, канд. техн. наук,

**Г. О. Кисельова**, старший викладач,

**В. Б. Кисельов**, старший викладач

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

## **МОДЕЛЮВАННЯ МІСТКОВОЇ ЕРОЗІЇ СЛАБКСТРУМОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ ЗАСОБАМИ MATLAB**

У статті розглядається можливість побудови математичної моделі процесу механічної ерозії слабкострумових електричних контактних пар з використанням моделюючої системи MATLAB методом ідентифікації, тобто отримання математичної моделі реального об'єкта на основі експериментальних даних, представлених у вигляді алгебраїчних рівнянь.

Місткова ерозія електричних контактних пар і пов'язаний із нею перенос металу з однієї контактної поверхні на іншу суттєво впливає на зносостійкість електричних контактів реле, потенціометрів, потенціометричних датчиків, еncoderів та іншої слабкострумової комутаційної апаратури. Однак на розмір містка при ерозії контактів окрім величини струму впливає багато факторів, а саме: швидкість замикання та розмикання, сила притискання, температура, тиск та щільність навколишнього середовища, геометрія контактів, параметри контактних матеріалів