

DOI [10.28925/2663-4023.2020.7.103114](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.103114)

УДК 004.056:004.7

Зибін Сергій Вікторович

д.т.н., доцент, професор кафедри Інженерії програмного забезпечення

Факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-2670-2823

zysv@ukr.net**ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ СТРУКТУР І ТРАФІКІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ЗАХИЩЕНИХ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ. КІЛЬКІСНА ОПТИМІЗАЦІЯ.**

Анотація. Стаття присвячена оптимізації розробки структур і трафіків передачі інформації в захищених корпоративних мережах за кількісним фактором, яка здійснюється в локальній задачі обчислення раціональних об'ємів інформації. З цією метою сформульована математична постановка локальної задачі з оптимізації ресурсів інформаційної системи за кількісним критерієм. Задача розв'язана шляхом обчислення раціональних об'ємів інформації та внесення їх в опис ресурсів інформаційної системи.

Враховуючи зростання об'ємів, розмаїття задач, які висуваються до захищених корпоративних мереж, оцінювати якість мереж, які проєктуються необхідно на основі багатокритеріальної оптимізації. Дана оптимізація повинна враховувати весь спектр останніх досягнень в області системного підходу, сучасних принципів скаляризації, прийомів декомпозиції та агрегування, теорії графів, алгоритмів оптимізації, методів ієрархічного структурування синтезу з послідовним прийняттям рішень.

Виконання поставленого завдання починається з побудови інформаційних структур, що представляють собою зв'язані орієнтовані графи. Вершинами графів являються задачі взаємодії макrorівня, що здійснюють інформаційний обмін між елементами локальної мережі і локальними мережами, а дугами являються інформаційні впливи або повідомлення. Відповідним чином будуються структури для мікрорівня.

Задачі взаємодії макrorівня і мікрорівня поділяються на три типи: ресурси-джерела; ресурси-транзити; ресурси-користувачі.

Оптимізація структур за кількісним фактором здійснюється в локальній задачі обчислення раціональних об'ємів інформації. Під об'ємом інформації розуміється кількість елементарних символів. Слід відзначити, що мова йде про об'єми інформації, які складаються з базових, а не синтетичних показників. Раціональний об'єм інформації повинен відповідати вимогам повноти інформації, що ставиться задачею-споживачем.

Якщо об'єм інформації менший необхідного, тоді елемент мережі, споживач або вся мережа відчуватиме нестачу інформації. У випадку надлишку потрібного об'єму виникають непродуктивні затрати на формування, обробку і передачу інформації або результатів рішення задач, а також загрози доступності системи. В глобальному випадку проблема набагато складніше, оскільки частина інформаційного потоку може бути інформаційним деструктивним впливом або загрозою порушення критеріїв інформаційної безпеки.

Ключові слова: інформаційна система; оптимізація; інформаційна безпека; кількісний критерій; ресурс; комплексна система захисту інформації.

1. ВСТУП

Під архітектурою корпоративної мережі розуміється організаційно-технічне об'єднання окремих підсистем, яке містить інформацію про характерні принципи побудови системи та зв'язках, як внутрішніх, між підсистемами, так і зовнішніх, із надсистемами, їх поточний стан та тенденції перспективного розвитку. Саме



архітектура забезпечує динаміку розвитку системи, її здатність до нарощування номенклатури комунікаційних послуг, можливість широкого впровадження сучасних спеціалізованих та універсальних додатків. На сьогоднішній час структури інформаційних технологій представляють собою поєднання різних програмних і апаратних комплексів, сховищ і мережевих пристроїв. Оптимізація дає можливість налагодити найбільш раціональну взаємодію всіх систем, автоматизувати і спростити всі процеси.

Проблема захисту інформації актуальна в сучасних корпоративних мережах. Інтерес до пошуку нових шляхів підвищення якості, оптимізації та синтезу корпоративних інформаційних систем як фактору ефективності діяльності не знижується. Враховуючи зростання об'ємів, розмаїття задач, які висувуються до захищених корпоративних мереж, оцінювати якість проєктованих мереж необхідно на основі багатокритеріальної оптимізації з використанням всього спектру останніх досягнень в області системного підходу, сучасних принципів скаляризації, прийомів декомпозиції та агрегування, теорії графів, дослідження операцій, алгоритмів оптимізації на мережах та графах, методів ієрархічного структурування синтезу з послідовним прийняттям рішень.

Постановка проблеми. При дослідженні трафіків передачі інформації в захищених мережах необхідно враховувати об'єми інформаційних потоків і виходячи з цього виконувати оптимізацію інформаційних елементів, ресурсів і структур з метою мінімізації кількості елементів, які виконують обробку і передачу інформації. Виконувати оптимізацію можна за декількома критеріями: кількісним, якісним, топологічним або часовим. Дану роботу присвячено оптимізації організації захищеної мережі за основним критерієм максимізації суми відношень ефектів взаємодії локальних мереж до затрат на їхню взаємодію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою оптимізації мереж займалися та займаються зарубіжні та вітчизняні вчені, а саме: Д. Фалкерсон [1], Р. Карп [2, 3], У. Дорфлер, Е. Майніка [4], І.В. Романовський [5, 6], В.Л. Баранов, Г.Л. Баранов [7], Д.В. Ланде [8, 9], О.П. Мартинова, А.А. Засядько [7], В.О. Хорошко [10, 11].

Однак, разом із вимогами до глибини наукових розробок постійно підвищуються вимоги до практичної спрямованості комплексного захисту мережі, який забезпечує не лише адекватне оцінювання рівня нових стандартів та технологій, але й реальні можливості їхнього впровадження. У зв'язку із цим, для підвищення ступеня деталізації питань підвищення рівня захищеності корпоративної мережі, виникає необхідність в декомпозиції не лише її структури, але й самого процесу оптимізації. Саме архітектура корпоративної мережі забезпечує динаміку розвитку системи, її здатність до нарощування номенклатури комунікаційних послуг, можливість широкого впровадження сучасних спеціалізованих та універсальних додатків.

В багатьох задачах синтезу мереж виникає задача знаходження суграфу $G'=(X, \theta')$, $\theta' \subset \theta$, в якому існує шлях від вершини x_0 в будь-яку іншу вершину $x \in X \setminus \{x_0\}$ і сума довжин дуг якого є мінімальною.

Зрозуміло, що задача не є деяким узагальненням задачі про побудову мінімального зв'язуючого дерева у зваженому неорієнтованому графі, для вирішення якої існує доволі простий та ефективний алгоритм Пріма-Краскала. Однак розв'язання задачі вимагає зовсім іншого підходу та алгоритму.

Ефективний алгоритм розв'язання даної задачі запропонований Едмондо [12]. В роботах [3, 12, 13] з'явилися інші модифікації; найцікавішою з них є модифікація

Фалкерсона [13] для проблеми оптимальної упаковки орієнтованих кореневих резервів. Цей алгоритм описаний в [6], де відзначається, що складною його частиною є зворотній хід відновлення необхідного суграфа за його редукцією.

Здавалося б, що розгляд цієї задачі не дає нічого нового, однак, дослідження цієї задачі є важливим як для модифікації вказаних алгоритмів, так і для дослідження питання оптимального розбиття орграфу G на визначену кількість підграфів з урахуванням побудови мінімальних (за сумою довжин дуг) суграфа з коренями у відповідних підграфах.

Крім того, на відміну від Едмона та Фалкерсона, які для обґрунтування запропонованих ними алгоритмів використали методи лінійного програмування, надано обґрунтування, яке не виходить за межі теоретико-графових міркувань. Такий підхід корисний також для розв'язання інших оптимізаційних задач, пов'язаних із вибором не лише оптимальної структури шуканого суграфа, але й відповідної підмножини.

Мета статті. Метою статті являється задача оптимізації розробки структур і трафіків передачі інформації в захищених корпоративних мережах за кількісним фактором, що дозволяє підвищити рівень захищеності інформації, яка циркулює в мережах. Оптимізація здійснюється в локальній задачі обчислення раціональних об'ємів інформації

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконання поставленого завдання розробки структур і трафіків починається з побудови інформаційних структур $G_n^{(1)}$, ($n = \overline{1, n_0}$), що представляють собою зв'язані орієнтовані графи [14]. Вершинами графів являються задачі взаємодії макrorівня $M_i^{\mu_i}$, ($i = \overline{1, i_0}$, $\mu_i = \overline{1, (\mu_i)_0}$), що здійснюють інформаційний обмін між елементами локальної мережі і локальними мережами, а дугами являються інформаційні впливи або повідомлення. Відповідним чином задачі $M_i^{\mu_i}$ представляють собою зв'язані орієнтовані підграфи, вершинами яких служать задачі взаємодії мікрорівня $U_i^{\lambda_i}$, $\lambda_i = \overline{1, (\lambda_i)_0}$, що забезпечують обмін інформаційними потоками між елементами локальної мережі S_i , а дугами являються інформаційні потоки цієї мережі.

Задачі взаємодії макrorівня і мікрорівня поділимо на три типи [10].

$$M_i^{\mu_i} = A_i^{\alpha_i} \cup B_i^{\beta_i} \cup D_i^{\delta_i}; \quad (\alpha_i, \beta_i, \delta_i) = \overline{1, (\mu_i)_0}; \quad \alpha_i \neq \beta_i \neq \delta_i; \quad i = \overline{1, i_0} \quad (1)$$

$$U_i^{\lambda_i} = X_i^{\phi_i} \cup Y_i^{\psi_i} \cup Z_i^{\xi_i}; \quad (\phi_i, \psi_i, \xi_i) = \overline{1, (\lambda_i)_0}; \quad \phi_i \neq \psi_i \neq \xi_i; \quad i = \overline{1, i_0}, \quad (2)$$

де $(A_i^{\alpha_i}, X_i^{\phi_i})$ – ресурси-джерела, що виконують збір, підготовку і передачу інформації;

$(B_i^{\beta_i}, Y_i^{\psi_i})$ – ресурси-транзити, які обробляють і передають інформацію;

$(D_i^{\delta_i}, Z_i^{\xi_i})$ – ресурси-споживачі, або користувачі. Даного виду ресурси-споживачі формують рішення або виконуються дії в мережі S'_i , в результаті обробки інформації.

Внесемо деякі позначення. Позначимо задачу $A_i^{\alpha_i} \cup B_i^{\beta_i}$ через $(M')_i^{\mu_i}$, а задачу $B_i^{\beta_i} \cup D_i^{\delta_i}$ через $(M'')_i^{\lambda_i}$. Аналогічно позначимо задачу $X_i^{\varphi_i} \cup Y_i^{\psi_i}$ через $(U')_i^{\gamma_i}$, а задачу $Y_i^{\psi_i} \cup Z_i^{\xi_i}$ через $(U'')_i^{\lambda_i}$.

Використаємо позначення задач взаємодії через W . В цьому випадку можна виразити інформацію, якою обмінюються елементи мережі, наприклад, S_k і S_i , як $W_{ki}^{(M')^{\mu_k}(U')^{\lambda_k},(M'')^{\mu_i}(U'')^{\lambda_i}}$ ($k = \overline{1, i_0}$, $\mu_k = \overline{1, (\mu_k)_0}$, $\lambda_k = \overline{1, (\lambda_k)_0}$). Інформацію, яка обертається всередині локальної мережі S_i , $W_{ii}^{(M')^{\mu_i}(U')^{\gamma_i}(U'')^{\lambda_i}}$, ($\gamma_i = \overline{1, (\lambda_i)_0}$, $\gamma_i \neq \lambda_i$).

В зв'язку з тим, що вихідні структури зовнішньої інформації і задачі взаємодії макрорівня необхідно розглядати як в напрямку від джерел до користувачів, так і навпаки, то вони можуть бути подані у вигляді (3) і (4):

$$G_n^{(1)} = \{A_k^{\alpha_k} \cap W_{ki}^{A_k^{\alpha_k}(U')^{\lambda_k},(M'')^{\mu_i}(U'')^{\lambda_i}}, A_k^{\alpha_k}(U')_k^{\lambda_k} I^*(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i} \cap (W_{ki}^{A_k^{\alpha_k}(U')^{\lambda_k},(M'')^{\mu_i}(U'')^{\lambda_i}} B_i^{\beta_i}), \\ (M')_k^{\mu_k}(U')_k^{\lambda_k} I^* B_i^{\beta_i}(U'')_i^{\lambda_i} \cap W_{ij}^{B_i^{\beta_i}(U')^{\lambda_i},(M'')^{\mu_j}(U'')^{\lambda_j}}, B_i^{\beta_i}(U')_i^{\lambda_i} I^*(M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j} \\ \cap W_{ij}^{(M')^{\mu_i}(U')^{\lambda_i}, D_j^{\delta_j}(U'')^{\lambda_j}} (D_j^{\delta_j})\}, \quad (3)$$

$$(M')_i^{\mu_i}(U')_i^{\lambda_i} I^* D_j^{\delta_j}(U'')_j^{\lambda_j} \quad (k, i, j) = \overline{1, i_0}, \quad (\mu_j, \delta_j) = \overline{1, (\mu_j)_0}, \quad \lambda_j = \overline{1, (\lambda_j)_0}, \quad k \neq i \neq j. \\ M_i^{\mu_i} = \{X_i^{\varphi_i} \cap (U'')_i^{\lambda_i}, \cap (U')_i^{\gamma_i} Y_i^{\psi_i} \cap (U'')_i^{\lambda_i}, \cap (U')_i^{\gamma_i} Z_i^{\xi_i}\}, \quad (4) \\ X_i^{\varphi_i} I^*(U'')_i^{\lambda_i} \quad (U')_i^{\gamma_i} I^* Y_i^{\psi_i} \quad Y_i^{\psi_i} I^*(U'')_i^{\lambda_i} \quad (U')_i^{\gamma_i} I^* Z_i^{\xi_i}$$

де I^* позначає оператор безпосереднього інформаційного зв'язку. Наприклад, в (3) задача $A_k^{\alpha_k}(U')_k^{\lambda_k}$ безпосередньо передуює задачі $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$, а задача $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$ безпосередньо йде за $A_k^{\alpha_k}(U')_k^{\lambda_k}$. В $G_n^{(1)}$ індекс (1) вказує порядковий номер локальної задачі.

Задачі взаємодії мікрорівня, що розглянуті в (3) безпосередньо видають або отримують інформацію від інших елементів мережі. Решта задач мікрорівня формують, переробляють або використовують інформацію, що функціонує всередині однієї мережі.

Припустимо, що структури $G_n^{(1)}$ перетворені в структури $G_n^{(3)}$, в результаті видалення в них і задачах $M_i^{\mu_i}$ елементарних контурів і мінімізації кількості інформації, що дублюється.

Оптимізація структур за кількісним фактором здійснюється в локальній задачі обчислення раціональних об'ємів інформації. Під об'ємом інформації розуміється кількість елементарних символів. Слід відзначити, що мова йде про об'єми інформації, які складаються з базових, а не синтетичних показників. Раціональний об'єм інформації повинен відповідати вимогам повноти інформації, що ставиться задачею-споживачем.

Якщо об'єм інформації менший необхідного, тоді елемент мережі, споживач або вся мережа відчуватиме нестачу інформації. У випадку надлишку потрібного об'єму виникають непродуктивні затрати на формування, обробку і передачу інформації або результатів рішення задач, а також загрози доступності системи. В глобальному

випадку проблема набагато складніше, оскільки частина інформаційного потоку може бути інформаційним деструктивним впливом або загрозою порушення критеріїв інформаційної безпеки [15].

Позначимо через $Q_{ki}^{(M')_k^{\mu_k}(U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $Q_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $Q_{ij}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j}}$, $Q_{ii}^{(M'')_k^{\mu_k}(U'')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$ об'єми відповідної інформації завдань взаємодії $W_{ki}^{(M'')_k^{\mu_k}(U'')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $W_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $W_{ij}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j}}$, $W_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $(v_i = \overline{1, (\lambda_i)_0}, v_i \neq \lambda_i)$. Нехай $(Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$, $(Q_{IN})_i^{B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}}$ визначають об'єми даних, які необхідні для виконання відповідно задач $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$, $B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}$, а $(Q_{OUT})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$ і $(Q_{OUT})_i^{B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}}$ ідентифікують об'єми результатів розв'язку задач $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$ і $B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}$.

Використовуючи позначення, які були прийняті сформулюємо математичну постановку локальної задачі:

– необхідно оптимізувати структуру $G_n^{(3)}$ за кількісним фактором Q

$$G_n^{(4)} = \underset{Q}{opt} G_n^{(3)} \quad (5)$$

тобто, необхідно забезпечити виконання кількісного критерію K_Q

$$K_Q = [\underset{G_n^{(4)}}{\forall} (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i} \times (\mathcal{G}_D \sum_{(M'')_k^{\mu_k}(U'')_k^{\lambda_k}} \frac{(Q_{ki}^{(M'')_k^{\mu_k}(U'')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i})^{\mathcal{G}_D}}{(Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}}) + \sum_{(U'')_i^{\lambda_i}} \frac{(Q_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i})^{\mathcal{G}_D}}{(Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}}) \rightarrow 1], \quad (6)$$

де \mathcal{G}_D – коефіцієнт достовірності, $(\mathcal{G}_D \leq 1)$;

\mathcal{G}_D – коефіцієнт повноти, $(\mathcal{G}_D \leq 1)$,

при наступних обмеженнях

$$(Q_{OUT})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}} \geq [\{\mathcal{G}_D (Q_{ij}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j})^{\mathcal{G}_D}\}, \{(Q_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i})^{\mathcal{G}_D}\}], \quad (7)$$

$$(Q_{IN})_i^{B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}} = (Q_{OUT})_i^{B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}}$$

$$(Q_{OUT})_i^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}} \geq [\{\mathcal{G}_D (Q_{ij}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j})^{\mathcal{G}_D}\}, \{(Q_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i})^{\mathcal{G}_D}\}]. \quad (8)$$

Обмеження (7) вказує на те, що задачам $(M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j}$ і $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$, які використовують інформацію $W_{ij}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j}(U'')_j^{\lambda_j}}$ і $W_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}, (M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}}$ відповідно, можуть передаватися всі або частина результатів розв'язку задачі $(M'')_i^{\mu_i}(U'')_i^{\lambda_i}$. Обмеження (8) характеризує рівність вхідних і вихідних об'ємів даних задач-транзитів.

Коефіцієнт достовірності \mathcal{G}_D і коефіцієнт повноти \mathcal{G}_Π визначаються на основі статистичних матеріалів як відношення (9) і (10)

$$\mathcal{G}_D = \left(\frac{(Q_\Phi^P)_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}}{(Q_{np})_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}} \right)^{y_i}, \quad (9)$$

$$\mathcal{G}_\Pi = \left(\frac{(Q_\Phi)_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}}{(Q_{np})_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}} \right)^{y_i}, \quad (10)$$

Використовуються позначення $W_{ki}^{M'_{\mu_k} U'_{\lambda_k}, M''_{\mu_i} U''_{\lambda_i}}$. $(Q_{np})_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$ ідентифікує проектний об'єм інформації, $(Q_\Phi)_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$ – фактичний об'єм інформації, $(Q_\Phi^P)_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$ – кількість релевантних символів у фактичному об'ємі інформації, y_i являється коефіцієнтом нелінійності, що залежить від цілі H_i системи S_i і вибирається евристично.

Для обчислення об'ємів інформації, що функціонують всередині задачі взаємодії макрорівня $M_i^{\mu_i}$, критерій K_Q доцільно представити у вигляді (11):

$$K_Q = [\forall_{M_i^{\mu_i}} (U'')_i^{\lambda_i} \cdot \sum_{(U')_i^{\lambda_i} \Gamma^* (U'')_i^{\lambda_i}} \frac{(Q_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}})^{g_n}}{(Q_{IN})_i^{M_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}} \rightarrow 1]. \quad (11)$$

Обмеження (7) і (8) можна перетворити у вирази (12) і (13):

$$(Q_{OUT})_i^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}} \geq \{(Q_{ii}^{M_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}})^{g_n}\}, \quad (12)$$

$$(Q_{IN})_i^{M_i^{\mu_i} Y_i^{y_i}} = (Q_{OUT})_i^{M_i^{\mu_i} Y_i^{y_i}}. \quad (13)$$

Вихідними даними локальної задачі являються об'єми інформації $(Q_e)_i^{M_i^{\mu_i} Z_i^{\lambda_i}}$, $(e = \overline{1, e_{\xi_i}})$, що використовуються для вироблення тих або інших керуючих рішень або здійснення будь-яких керуючих дій в мережі S_i , а також коефіцієнти об'ємів $h_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$, $h_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$, $[(h_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}, h_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}) \leq 1]$, відповідної інформації задач $W_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$, $W_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$.

Значення $(Q_e)_i^{M_i^{\mu_i} Z_i^{\lambda_i}}$, $h_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$, $h_{ii}^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}$ визначаються при дослідженні цілей системи. Коефіцієнти об'ємів задаються так, щоб для кожної зовнішньої задачі $(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}$ виконувалося наступне рівняння:

$$\sum_{(M')_k^{M_k} (U')_k^{Z_k}, (M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i}} h_{ki}^{(M')_k^{M_k} (U')_k^{Z_k}, (M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i}} + \sum_{(U')_i^{Z_i} \Gamma (U'')_i^{Z_i}} h_{ii}^{(M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i} (U'')_i^{Z_i}} = 1, \quad (14)$$

а для внутрішньої задачі $(M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i}$ виконувалось рівняння:

$$\sum_{(U')_i^{Z_i} \Gamma (U'')_i^{Z_i}} h_{ii}^{(M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i} (U'')_i^{Z_i}} = 1. \quad (15)$$

В загальному випадку значення об'єму $(Q_{IN})_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}$ знаходиться в інтервалі між найбільшим значенням із $\{(Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}\}$ і сумою всіх $(Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}$:

$$\max\{(Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}\} \leq (Q_{IN})_i^{M_i Z_i^{\xi_i}} \leq \sum_{e=1}^{e_{\xi_i}} (Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}. \quad (16)$$

Однак при подальшому розгляді обмежимося виразами (17) і (18):

$$(Q_{IN})_i^{M_i Z_i^{\xi_i}} = \max\{(Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}\}, \quad (17)$$

$$(Q_{IN})_i^{M_i Z_i^{\xi_i}} \leq \sum_{e=1}^{e_{\xi_i}} (Q_e)_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}, \quad (18)$$

при цьому $(Q_{IN})_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}$ визначається за цими виразами в залежності від значення коефіцієнта релевантності $a_i^{M_i Z_i^{\xi_i}}$.

В результаті рішення локальної задачі необхідно знайти раціональні об'єми $Q_{ki}^{(M')_k^{M_k} (U')_k^{Z_k}, (M'')_i^{M_i} (U'')_i^{Z_i}}$, $Q_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} (U'')_i^{Z_i}}$ і $(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{M_i} (U')_i^{Z_i}}$.

Алгоритм обчислення об'ємів інформації починається з послідовного аналізу задач $M_i^{M_i}$ і пошуку в них задач-користувачів $Z_i^{\xi_i}$. Використовуючи опис задачі макрорівня в (4) і коефіцієнти об'ємів, обчислюємо об'єми інформації $W_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}}$. Припустимо, що

$$\left(Q_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}}\right)^{\theta_{11}} = h_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}} (Q_{IN})_i^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}}, \quad (19)$$

тоді

$$Q_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}} = [h_{ii}^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}} (Q_{IN})_i^{M_i^{M_i} (U')_i^{Z_i} Z_i^{\xi_i}}]^{\frac{1}{\theta_{11}}}. \quad (20)$$

Якщо задача $Z_i^{\xi_i}$ отримує також інформацію $W_{ki}^{(M')_k^{M_k} (U')_k^{Z_k}, (M'')_i^{M_i} Z_i^{\xi_i}}$ із зовнішнього середовища, то за описом $G_n^{(3)}$ знаходимо ці впливи і визначаємо їх об'єми:

$$\mathcal{G}_D(Q_{ki}^{M_{\mu k}(U')_k^{\lambda k}, (M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}})_{\mathcal{G}_D} = h_{ki}^{(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}, (M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}} (Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}}, \quad (21)$$

$$Q_{ki}^{(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}, (M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}} = \left[\frac{h_{ik}^{(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}, (M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}} (Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}}}{\mathcal{G}_D} \right]_{\mathcal{G}_D}^{-1}. \quad (22)$$

Оскільки інформація $W_{ki}^{(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}, (M'')_i^{\mu i} Z_i^{\xi i}}$ передається між елементами мережі, то в (21) і (22) враховується коефіцієнт достовірності \mathcal{G}_D , тип задачі $M_i^{\mu i}$ у цьому випадку рівний B або D .

Далі переходимо до обчислення об'ємів $(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\gamma i}}$, $(Q_{OUT})_k^{(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}}$. Послідовно розглядаємо задачі $D_i^{\delta i}$, $Z_i^{\xi i}$ і визначаємо безпосередньо передуючі їм задачі

$$D_i^{\sigma i}(U')_i^{\gamma i} I^* D_i^{\delta i} Z_i^{\xi i}, \\ (M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k} I^* D_i^{\delta i} Z_i^{\xi i}.$$

За задачами $D_i^{\sigma i}(U')_i^{\gamma i}$ або $(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}$ безпосередньо можуть йти не тільки задачі-користувачі, але й задачі-транзити. Тоді, зафіксувавши задачі $D_i^{\sigma i}(U')_i^{\gamma i}$ або $(M')_k^{\mu k}(U')_k^{\lambda k}$, необхідно обчислити об'єми результатів виконання задач-транзитів аналогічно (20) і (22). Якщо за цими задачами-транзитами, в свою чергу, безпосередньо ідуть інші задачі-транзити, то процес фіксування і аналізу вихідних об'ємів повторюється до тих пір, поки за задачею, що розглядається, не будуть іти задачі типу Z . Вихідні об'єми задач обчислюються як в (17) і (18) на основі заданого значення коефіцієнта релевантності $a_i^{M_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}}$

$$(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}} = \max\{\{\mathcal{G}_D(Q_{ij}^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}, (M'')_j^{\mu j}(U'')_j^{\lambda j}})_{\mathcal{G}_D}\}, \{(Q_{ii}^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}(U'')_i^{\nu i}})_{\mathcal{G}_D}\}\}, \quad (23)$$

$$(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}} = \sum_{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i} I^* (M'')_j^{\mu j}(U'')_j^{\lambda j}} \mathcal{G}_D(Q_{ij}^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}, (M'')_j^{\mu j}(U'')_j^{\lambda j}})_{\mathcal{G}_D} + \\ + \sum_{(U')_i^{\lambda i} I^* (U'')_i^{\nu i}} (Q_{ii}^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}(U'')_i^{\nu i}})_{\mathcal{G}_D}; \quad (24)$$

для зовнішніх задач $(U')_i^{\lambda i}$ і згідно

$$(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}} = \max\{\mathcal{G}_D(Q_{ii}^{M_{\mu i}(U')_i^{\lambda i}(U'')_i^{\nu i}})_{\mathcal{G}_D}\}, \quad (25)$$

$$(Q_{OUT})_i^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}} = \sum_{(U')_i^{\lambda i} I^* (U'')_i^{\nu i}} (Q_{ii}^{(M')_i^{\mu i}(U')_i^{\lambda i}(U'')_i^{\nu i}})_{\mathcal{G}_D}, \quad (26)$$

для внутрішніх задач $(U')_i^{\lambda_i}$. Враховуючи (8) і (13) знаходимо об'єми інформації $(Q_{IN})_i^{B_i^{\beta_i} Y_i^{\psi_i}}$ і $(Q_{IN})_i^{M_i^{\mu_i} Y_i^{\psi_i}}$.

Послідовно розглядаючи всі зафіксовані задачі, можна визначити об'єми інформації

$$Q_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}} = \left[\frac{h_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}} (Q_{IN})_i^{(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}}{g_{\Pi}} \right]^{\frac{1}{g_{\Pi}}}. \quad (27)$$

$$Q_{ii}^{M_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i}} = \left[h_{ii}^{M_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i}} (Q_{IN})_i^{M_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i}} \right]^{\frac{1}{g_{\Pi}}}. \quad (28)$$

За порядком обчислення об'єми вносимо в опис структури (3) або в опис задачі взаємодії макрорівня (4). Після закінчення процедури визначення об'ємів інформаційних потоків вирази (3) і (4) приймуть відповідно такий вигляд:

$$\begin{aligned} G_n^{(4)} = & \{ (A_k^{\alpha_k}) \cap (W_{ki}^{A_k^{\alpha_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}} Q_{ki}^{A_k^{\alpha_k} (U')_k^{\lambda_k}, (M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i}}), \\ & A_k^{\alpha_k} (U')_k^{\lambda_k} I^*(M'')_i^{\mu_i} (U'')_i^{\lambda_i} \cap (W_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, B_i^{\beta_i} (U'')_i^{\lambda_i}} Q_{ki}^{(M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k}, B_i^{\beta_i} (U'')_i^{\lambda_i}}) B_i^{\beta_i}, \\ & (M')_k^{\mu_k} (U')_k^{\lambda_k} I^* B_i^{\beta_i} (U'')_i^{\lambda_i} \cap (W_{ij}^{B_i^{\beta_i} (U')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j} (U'')_j^{\lambda_j}} Q_{ij}^{B_i^{\beta_i} (U')_i^{\lambda_i}, (M'')_j^{\mu_j} (U'')_j^{\lambda_j}}), \\ & B_i^{\beta_i} (U')_i^{\lambda_i} I^*(M'')_j^{\mu_j} (U'')_j^{\lambda_j} (W_{ij}^{(M')_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i}, D_{\delta_j} (U'')_j^{\lambda_j}} Q_{ij}^{(M')_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i}, D_{\delta_j} (U'')_j^{\lambda_j}}) D_j^{\delta_j} \}, \quad (29) \\ & (M')_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i} I^* D_j^{\delta_j} (U'')_j^{\lambda_j} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^{\mu_i} = & \{ (X_i^{\psi_i}) \cap ((U'')_i^{\lambda_i} Q_{ii}^{M_i^{\mu_i} X_i^{\psi_i} (U'')_i^{\lambda_i}}), \\ & X_i^{\psi_i} I^*(U'')_i^{\lambda_i} \cap (U')_i^{\lambda_i} Q_{ii}^{M_i^{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i} Y_i^{\psi_i} Y_i^{\psi_i} \cap ((U'')_i^{\lambda_i} Q_{ii}^{M_i^{\mu_i} Y_i^{\psi_i} (U'')_i^{\lambda_i}}), \\ & (U')_i^{\lambda_i} I^* Y_i^{\psi_i} Y_i^{\psi_i} I^*(U'')_i^{\lambda_i} \cap ((U')_i^{\lambda_i} Q_{ii}^{M_{\mu_i} (U')_i^{\lambda_i} Z_i^{\xi_i}}) Z_i^{\xi_i} \}. \quad (30) \\ & (U')_i^{\lambda_i} I^* Z_i^{\xi_i} \end{aligned}$$

Отже, наведені викладки та отримані результати дозволяють виконати кількісну оптимізацію ресурсів корпоративної мережі.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основним критерієм оптимізації архітектури корпоративної мережі запропоновано максимізацію суми відношень ефектів взаємодії локальних мереж до затрат на їх взаємодію. Оскільки ця задача є багатокритеріальною задачею оптимізації і при її вирішенні виникають труднощі, основний критерій подається у вигляді ієрархії локальних критеріїв. Було виконано декомпозицію задачі розробки на ряд локальних задач. Основу декомпозиції складає залежність між локальними критеріями оптимізації та факторами, які враховуються.

Оптимізація структур за кількісним фактором здійснюється в локальній задачі обчислення раціональних об'ємів інформації.

Сформульована наступна математична постановка локальної задачі: необхідно оптимізувати структуру $G_n^{(3)}$ за кількісним фактором Q

$$G_n^{(4)} = opt G_n^{(3)}$$

Q

тобто, необхідно оптимізувати структури таким чином, щоб виконувався кількісний критерій K_Q . Задача розв'язана шляхом обчислення раціональних об'ємів інформації та внесення їх в опис структури мережі.

Проведено дослідження складових ефективності від виконання задач та витрат на їх виконання.

При проектуванні та розробці трафіків передачі інформації в мережах, а також взаємодії елементів корпоративної мережі крім кількісної здійснюється також оптимізація інформаційних структур за якісним фактором, що являється наступним кроком і напрямком досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] L. Ford and D. Fulkerson, *Flows in Networks*. Princeton University Press, 1962, p. 216.
- [2] R. Karp, "Reducibility among combinatorial problems. Complexity of computer computations, Proceedings of a Symposium on the Complexity of Computer Computations", *New York and London*, 1972, pp. 85–103.
- [3] R. Karp, "A simple derivation of Edmonds' algorithm for optimum branching", *Network*, no. 3, pp. 265 – 272, 1971.
- [4] Э. Майника, *Алгоритмы оптимизации на сетях и графах*. М.: Мир, 1981, с. 324.
- [5] В. Романовський, М. Качан, "Оцінка ефективності передачі електричної енергії в СІП-лініях розподільних електричних мереж", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 4(8), сс. 29-33, 2004.
- [6] И. Романовский, *Алгоритмы решения экстремальных задач*. М.: Наука, 1987, с. 284.
- [7] О.П. Мартынова, А.А. Засядько, В.Л. Баранов, "Повышение информационной безопасности компьютерных сетей методами многокритериальной и многопутевой маршрутизации", *Системы обработки информации*, № 7(81), сс. 29-32, 2009.
- [8] Д.В. Ландэ, *Основы интеграции информационных потоков: Монография*. К.: Инжиниринг, 2006. с. 240.
- [9] Д. В. Ланде, С. В. Прищепа, Т. В. Сінькова, "Автоматична побудова термінологічної мережі як моделі предметної області", *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, № 3(17), сс. 22 – 29, 2015.
- [10] В.А. Кудинов, Л.Т. Пархуць, В.А. Хорошко, "Оптимизация структуры информационной сети", *Захист інформації*, № 3, сс. 44 – 49, 2004.
- [11] В.А. Кудинов, Д.В. Плус, В.А. Хорошко, Д.В. Чирков, "Методика синтеза оптимальной топологической структуры", *Захист інформації*, №1, сс.12-21, 2005.
- [12] J. Edmonds, "Optimum branchings", *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, № 71B, pp. 233 – 240, 1967.
- [13] D. R. Fulkerson, "Packing rooted directed cuts in a weighted directed graf", *Mathematical Programming*, № 6, pp. 1 – 13, 1974.
- [14] J. L. Gross, Ja.Yellen, M. Anderson, *Graph Theory and Its Applications. 3rd Edition*. Chapman and Hall/CRC, 2019, p. 577.
- [15] "Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу", НД ТЗІ 2.5-004-99.



Serhii V. Zybin

D.Sc., associate professor, professor of the department of software engineering

National Aviation University; Faculty of Cybersecurity, Computer and Software Engineering, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-2670-2823

zvsv@ukr.net

AN OPTIMIZATION OF STRUCTURES AND TRAFFIC DEVELOPMENT FOR TRANSMISSION OF INFORMATION IN PROTECTED CORPORATE NETWORKS. A QUANTITATIVE OPTIMIZATION

Abstract. The article is devoted to the optimization of the structures and traffic development for information transmission in secured corporate networks by quantitative factor. Optimization is carried out in the local task of calculating rational amounts of information. To this end, a mathematical formulation of a local problem is formulated. Which is to optimize the resources of the information system by quantitative criteria. The task is solved by calculating rational amounts of information and entering them in the description of information system resources.

It is necessary to evaluate the quality of networks that are being designed based on multicriteria optimization. This is due to the increase in volume and the variety of tasks being promoted to secured corporate networks. This optimization should take into account the full range of recent developments in the field of systematic approach, modern scalarisation principles, decomposition and aggregation techniques, graph theory, optimization algorithms, hierarchical synthesis structuring methods with consistent decision making.

The task begins with the construction of information structures, which are linked oriented graphs. The vertices of the graphs are macro-level interaction tasks that carry out information exchange between local area network elements and local area networks, while arcs are information influences or messages. The structures for the micro level are accordingly constructed.

Macro-level and micro-level interaction tasks are divided into three types: source resources; transit resources; user resources.

The optimization of structures by quantitative factor is carried out in the local task of calculating rational amounts of information. The amount of information means the number of elementary characters. It should be noted that these are volumes of information that consist of basic rather than synthetic indicators. A reasonable amount of information must comply with the completeness of the information which are put forward by consumers task.

If the amount of information is less than required, then the network element, the consumer, or the entire network will experience a lack of information. If the required volume is exceeded, there is an unproductive cost of generating, processing and transmitting information or the results of the tasks, as well as threats to the availability of the system. In the global case, the problem is much more complicated because part of the information flow can be an information destructive influence or a threat of breach of information security criteria.

Keywords: information system; optimization; informational security; quantitative criterion; resource; complex information security system.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] L. Ford and D. Fulkerson, *Flows in Networks*. Princeton University Press, 1962, p. 216. (in English).
- [2] R. Karp, "Reducibility among combinatorial problems. Complexity of computer computations, Proceedings of a Symposium on the Complexity of Computer Computations", *New York and London*, 1972, pp. 85–103. (in English).
- [3] R. Karp, "A simple derivation of Edmonds' algorithm for optimum branching", *Network*, no. 3, pp. 265 – 272, 1971. (in English).
- [4] Je. Majnika, *Optimization Algorithms on Networks and Graphs*. M.: Mir, 1981, p. 324. (in Russian).
- [5] V. I. Romanovskiy, M. V. Kachan, "Assessment of the efficiency of electric energy transmission in SIP lines of distribution electric networks", *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, №4(8), pp. 29-33, 2014. (in Ukrainian).



- [6] I.V. Romanovskij, *Algorithms for solving extreme problems*. M.: Nauka, p. 284, 1987. (in Russian).
- [7] O.P. Martynova, A.A. Zasiadko, V.L. Baranov, "Improvement of information security of computer networks by methods of multicriteria and multipath routing", *Information processing systems*, № 7(81), pp. 29-32, 2209. (in Russian).
- [8] V.D. Lande, *Fundamentals of the integration of information flows: Monograph*. K.: Inzhiniring, 2006, p. 240. (in Russian).
- [9] D. V. Lande, S. V. Pryshchepa, T. V. Sinkova, "Automatic construction of terminology network as a domain model", *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh*, № 3(17), pp. 22 – 29, 2015. (in Ukrainian).
- [10] V.A. Kudynov, L.T. Parkhuts, V.A. Khoroshko, "Optimization of the structure of the information network", *Zakhyst informatsii*, № 3, pp. 44 – 49, 2004. (in Russian).
- [11] V.A. Kudynov, D.V. Plus, V.A. Khoroshko, D.V. Chyrkov, "The synthesis method of the optimal topological structure", *Zakhyst informatsii*, №1, pp. 12-21, 2005. (in Russian).
- [12] J. Edmonds, "Optimum branchings", *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, № 71B, pp. 233 – 240, 1967. (in English).
- [13] D. R. Fulkerson, "Packing rooted directed cuts in a weighted directed graf", *Mathematical Programming*, № 6, pp. 1 – 13, 1974. (in English).
- [14] J. L. Gross, Ja. Yellen, M. Anderson, *Graph Theory and Its Applications. 3rd Edition*. Chapman and Hall/CRC, 2019, p. 577. (in English).
- [15] "Criteria for evaluating information security in computer systems against unauthorized access", ND TZI 2.5-004-99. (in Ukrainian).

