

УДК 004.5

**О. Г. Додонов, О. С. Горбачик, М. Г. Кузнецова**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України

вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

e-mail: dodonov@ipri.kiev.ua

## **Живучість інформаційно-аналітичних систем: понятійний апарат, моделі аналізу та оцінки**

*Розглянуто особливості інформаційно-аналітичних систем як складових сучасної інформаційної інфраструктури. Визначено поняття функціональної, структурної, інформаційної живучості. Наведено моделі аналізу й оцінки цих характеристик системи.*

**Ключові слова:** інформаційно-аналітична система, функціональна живучість, структурна живучість, інформаційна живучість.

В умовах глобалізації, розвитку та впровадження нових інформаційних технологій будь-яка важлива для економіки та суспільства функція має бути підтримана безпечною та надійною інфраструктурою (енергетичною, телекомунікаційною, транспортною, фінансовою тощо). Зростає взаємозалежність різних інфраструктур, жорсткішають вимоги до якості їхнього функціонування, але не зникає ймовірність розвитку каскадних відмов із катастрофічними наслідками при пошкодженні окремого елемента загальної інфраструктури. Оскільки інформаційна інфраструктура є системоутворюючою в сучасному світі та такою, що формує механізми обробки, передачі, збереження та використання інформації, то порушення процесів її нормального функціонування може призвести до порушень життєво важливих функцій державного управління, управління екологічно небезпечними та економічно важливими виробництвами тощо. Живучість інформаційної інфраструктури стає необхідною умовою сталого існування та розвитку сучасного суспільства.

Забезпечення живучості всієї інфраструктури в цілому — занадто складна проблема, вирішення якої вимагає чи не більших витрат, ніж створення самої інфраструктури, тому доцільно говорити лише про забезпечення живучості окремих складових інфраструктури (так званих «критичних компонентів»), до яких належать територіально й функціонально розподілені інформаційно-аналітичні системи (ІАС), орієнтовані на підтримку процесів управління. Від якості функціонування ІАС залежить сьогодні можливість чи неможливість опрацювання великих обсягів різноманітної інформації, отримання чи неотримання точної та повної ін-

© О. Г. Додонов, О. С. Горбачик, М. Г. Кузнецова

формації з різних питань у будь-який час у будь-якому місці, що власне є важливішим фактором успішності в сучасному діловому середовищі. Живучість ІАС гарантує здатність системи виконувати необхідні функції щодо обміну, збереження, обробки даних із заданою якістю в умовах негативних впливів; тимчасово знижувати продуктивність функціонування (деградувати) у визначених межах, виконуючи визначений обсяг основних (життєво важливих, критичних) функцій у умовах накопичення та поширення відмов; підтримувати та своєчасно відновлювати функціонування ІАС із необхідною якістю навіть при втраті окремих компонентів. Поняттям живучості ІАС характеризують не тільки надійність апаратних і програмних засобів, але й відмовостійкість архітектури ІАС, доступність, цілісність і захищеність інформації, що циркулює або зберігається в ІАС, якість підтримки інформаційної взаємодії.

Як складова інформаційної інфраструктури ІАС є об'єднана інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, яка працює у взаємодії з людиною, колективом людей, або автономно й здатна на основі наявної інформації та знань, маючи певну мотивацію, синтезувати ціль, напрацювати рішення щодо дій і знайти раціональний спосіб досягнення цілі.

Однією з особливостей сучасних ІАС є їхнє суттєве ускладнення, пов'язане не стільки з кількістю складових елементів, скільки зі зростанням множини варіантів функціональної поведінки системи в залежності від зовнішнього середовища. Нескінчена множина можливих станів зовнішнього середовища при функціонуванні системи, семантична різноманітність вхідної структурованої чи неструктурованої інформації, яка потребує опрацювання в ІАС, багатоваріантність функцій обробки інформації роблять неспроможним побудову вичерпного критерію оцінки якості функціонування таких систем [2]. Критерії оцінки якості, як правило, обираються, виходячи з вимог щодо масштабованості системи, продуктивності, керованості, надійності, відмовостійкості, безпеки функціонування тощо.

Основною методологією дослідження складних систем є системний аналіз [1]. З точки зору системного аналізу живучість — це властивість будь-якої складної системи адаптуватися до непередбачених ситуацій, протистояти небажаним впливам і виконувати ціль функціонування за рахунок зміни поведінки й структури системи [3].

Поняттям «небажані впливи» визначають різноманітні атаки на систему, можливі відмови, збої й порушення в роботі технічного й програмного забезпечення, катастрофічні впливи природного чи техногенного походження, але важлива не природа впливів, а їхні наслідки для системи [4, 5]. Наявність властивості живучості дозволяє системі функціонувати за наявності небажаних впливів та їхньому накопиченні, зберігатися як цілому в екстремальних для неї умовах.

Сучасні ІАС, у яких навіть не впроваджені спеціальні засоби забезпечення живучості, до деякої міри мають властивість живучості, тому що відмова окремих елементів не призводить до виходу з ладу всієї системи, усунення несправності часто проводиться автоматично, поведінка системи може змінюватися залежно від параметрів зовнішнього середовища.

Системи підвищеної живучості мають спеціальні механізми забезпечення живучості та здатні обирати оптимальний режим функціонування за рахунок власних внутрішніх ресурсів, перебудови структури, зміни функцій і поведінки ок-

ремих підсистем. Вибір поведінки системи виконується відповідно до змін зовнішнього середовища та функціонального інваріанту системи, який можна назвати внутрішньою метою її функціонування [6]. Вибір поведінки передбачає також наявність деякої множини можливих різних наслідків, об'єднаних загальною властивістю відповідності одній зовнішній причині в даних умовах. Отже, змінювати поведінку можуть тільки системи, які в принципі виключають жорсткий зв'язок зовнішньої причини вибору з фактичною поведінкою системи в результаті вибору (зовнішні причини викликають наслідки, які не можуть бути передбачені однозначно).

ІАС — це системи, у яких накопичується, обробляється та зберігається великий обсяг інформації як із зовнішнього, так і внутрішнього середовища при активній участі користувачів і гарантованій конфіденційності, цілісності та доступності інформації. Для цих систем розрізняють функціональну, структурну та інформаційну живучість. Під *функціональною живучістю* розуміють здатність системи виконувати ціль функціонування із заданою якістю за умов наявності небажаних впливів за рахунок механізмів зміни поведінки системи (адаптації, редукції цілі). *Структурна живучість* — це здатність системи виконувати ціль функціонування із заданою якістю за умов наявності небажаних впливів за рахунок механізмів підтримки необхідної системної структури. *Інформаційна живучість* — здатність системи підтримувати доступність, цілісність та конфіденційність інформації на рівні, що дозволить виконувати ціль функціонування із заданою якістю незалежно від інформаційних впливів і порушень у користуванні інформаційними ресурсами.

Забезпечення та підвищення живучості ІАС у цілому досягається завдяки впровадженню спеціальних механізмів розпізнавання, компенсації, відновлення, адаптації, реконструкції, реконфігурації та реорганізації [1, 3–10].

### **Функціональна живучість**

При дослідженні функціональної живучості складних комп'ютерних систем використовуються теоретико-ігрові, імовірнісні, графові, матричні моделі тощо [3, 11, 15–17] та враховуються такі особливості ІАС:

- складність організації системи;
- багатofункціональність окремих компонент;
- наявність єдиної (головної) мети функціонування всієї системи;
- можливість не тільки інформаційного обміну між окремими компонентами, але й інформаційної взаємодії з користувачами;
- наявність засобів захисту, контролю, діагностики й самоорганізації.

У теоретико-ігрових моделях живучих систем функціонування розглядається як серія обмінів деякої кількості  $V$  ресурсів, що витрачають, на деяку кількість  $W$  споживаних ресурсів. Для одержання кількісної оцінки живучості систем, які описуються моделями такого типу, конкретизується зміст  $(V, W)$ -обмінів. Оптимальність поведінки систем досягається за рахунок оптимізації  $(V, W)$ -обмінів. Живучість систем оцінюється наявністю в них життєво важливих елементів, які визначаються на основі експертних оцінок у кожному конкретному випадку за відповідними правилами.

Як правило, на основі теоретико-ігрових моделей проводять дослідження живучості ІАС військового призначення, які функціонують в умовах цілеспрямованого впливу супротивника, наявності зовнішніх і внутрішніх збурюючих факторів, коли компенсувати нештатні ситуації, потоки відмов і збоїв можна лише за рахунок внутрішніх резервів системи [3, 16].

Імовірнісні, графові, матричні моделі аналізу та оцінки живучості досить різноманітні [1, 7, 13–15]. У кожному конкретному випадку для різних моделей, враховуючи різні цілі функціонування, а також умови працездатності системи будуються кількісні (скалярні чи векторні) оцінки живучості. Порівняння показників живучості різних систем може здійснюватися, коли цілі їхнього функціонування збігаються. Показник живучості може змінюватися в разі зміни цілі функціонування.

Кількісні показники живучості ІАС суттєво залежать від параметрів, що визначають умови працездатності системи. Поточний рівень працездатності визначає кількість, якість та сутність функцій, які узагальнюються поняттям «ціль функціонування системи». Стосовно цілі функціонування в складних комп'ютерних системах може мати місце одна зі стратегій [11]:

*f*-стратегія — стратегія забезпечення відмовостійкості (fault-tolerance);

*s*-стратегія — стратегія забезпечення живучості (survivability).

При формуванні *f*-стратегії мають вирішуватися наступні задачі:

— визначення множини станів системи  $S^{(f)} = \{s_v^{(f)}\}$ , в яких необхідна протидія загрозам порушенню працездатності;

— формування варіантів розподілу функцій між працездатними складовими системи в станах множини  $S^{(f)}$ .

Стратегія забезпечення відмовостійкості орієнтована на повну компенсацію передбачених функціональних відмов і збереження показників ефективності функціонування ІАС у цих випадках.

При формуванні *s*-стратегій для кожного стану множини  $S^{(f)}$  необхідно додатково вирішити задачу напрацювання рішень щодо функцій системи: звужувати чи ні множину функцій, які інтегруються в ціль функціонування; як це робити; спрощувати чи ні алгоритми реалізації функцій тощо.

Рішення щодо цілі функціонування ІАС в умовах наявності небажаних впливів може бути одним із наступних.

1. Множина функцій системи не може бути змінена, мають виконуватися всі функції, можливо, з меншою ефективністю або з погіршенням якості, тобто в будь-якому стані із множини  $S^{(f)}$  повинна виконуватися умова:

$$\prod_{i \in I} x(f_i) = 1, \quad x(f_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } f_i \text{ виконується} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

2. У довільному стані з множини  $S^{(f)}$  має забезпечуватися виконання деякої підмножини функцій  $F^*$ , що складають ціль функціонування системи, тобто

$$\prod_{f_i \in F^*} x(f_i) = 1.$$

Множина функцій  $F^*$  залежить від стану системи й визначених вимог до функціональної живучості.

3. У довільному стані із множини  $S^{(f)}$  система повинна забезпечувати виконання хоча б однієї функції із множини  $F^*$ , тобто  $\sum_{i \in I} x(f_i) \geq 1$ .

Функціональна живучість ІАС залежить від визначеної цілі функціонування системи. Порівняння функціональної живучості різних систем може здійснюватися в умовах, коли вони мають однакові цілі функціонування. Оцінка живучості однієї й тієї ж системи може змінюватися при зміні цілі функціонування.

При виборі механізмів підвищення функціональної живучості конкретної ІАС мають ураховуватися цілі функціонування (множина функцій, які виконуються системою), структура зв'язків системи, особливості функціональних компонентів, що являють собою організаційно-технічні комплекси з відповідним технічним, програмним та інформаційним забезпеченням, наслідки відмов яких компенсуються завдяки наявності механізмів підвищення живучості.

При аналізі та оцінці функціональної живучості припускається, що можна забезпечити необхідні зв'язки між функціональними компонентами. Позначимо

множину функцій, що можуть виконуватися системою, через  $F = \bigcup_{i \in I} F_i = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , причому функціональний компонент  $\Phi_k$  потенційно може виконувати множину функцій  $\varphi_n : \{1, 2, \dots, p\} \rightarrow P(F)$ , де  $P(F)$  — множина всіх підмножин  $F$ . Якщо  $\varphi_n(k) = \{f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}\}$ ,  $1 \leq i_r \leq n$ , то функціональний компонент  $\Phi_k$  може виконувати функції  $f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}$ .

У кожний конкретний момент часу кожний конкретний функціональний компонент  $\Phi_k$  призначається для виконання деякої множини функцій, що визначається через  $\varphi_{men} : \{1, 2, \dots, p\} \rightarrow P(F)$ . Якщо  $\varphi_{men}(k) = \{f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}\}$ , то функціональний компонент  $\Phi_k$  призначений для виконання функції  $f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}$ . Якщо  $\varphi_{men}(k) = 0$ , то  $\Phi_k$  непрацездатний.

Кожна функція  $f_i \in F$  характеризується деякою ефективністю виконання  $c_i$  (наприклад, часом виконання, обсягом опрацювання даних тощо). Функція ефективності для системи може бути визначена як  $\varphi_{ef} : F \times \{1, 2, \dots, p\} \times P(F) \rightarrow C$ , де  $C$  — деяка числова множина.  $\varphi_{ef}(f_i, k, \varphi_{men}(k)) = c_{i_k}$  означає, що якщо функціональний компонент  $\Phi_k$  призначений для виконання функції  $\varphi_{men}(k) = \{f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}\}$ , то ефективність при виконанні  $f_i \in \{f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_j}\}$  дорівнює  $c_{i_k}$ .

Умови досягнення цілі функціонування (виконання необхідної визначеної множини функцій із заданою ефективністю) будуть визначатися:

$$\bigcup_{k=1}^p \varphi_n(k) \supseteq F, \quad (1)$$

$$\varphi_{мен}(k) \subseteq \varphi_n(k) \quad \forall k = \overline{1, p}, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^p \varphi_{ef}(f_i, k, \varphi_{мен}(k)) \geq c_i \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Під функціональною відмовою будемо розуміти неможливість виконання функціональним компонентом деякої функції. У цьому випадку змінюється стан функціонального компонента й відповідно функція  $\varphi_{мен}$ . Якщо це призводить до порушення умов досягнення цілі функціонування (умова (2) не може порушуватися через функціональну відмову, але її порушення може бути викликане помилковим керуванням), то засоби забезпечення живучості повинні скорегувати функціонування системи таким чином, щоб знову виконувалися умови (1)–(3), можливо, за рахунок зміни функції  $\varphi_{мен}$  функціональних компонентів. Оптимальність поведінки системи буде визначатися через забезпечення виконання необхідних умов за рахунок зміни мінімальної кількості  $\varphi_{мен}$ , тобто шляхом мінімізації числа функціональних компонентів, задіяних у процедурах компенсації відмов.

Критерієм живучості системи (кількісною оцінкою) може служити кількість компенсованих функціональних відмов.

Якщо має місце функціональна однорідність компонентів  $\Phi_k$ , а ціль функціонування визначається як підтримка продуктивності системи на заданому рівні завдяки наявності відповідної кількості працездатних функціональних компонентів  $\mathfrak{R}(\Phi_k, t) \geq \mathfrak{R}^* = \text{const}$ , де  $\mathfrak{R}(\Phi_k, t)$  — середнє число працездатних функціональних компонентів у системі в момент часу  $t \geq 0$ ;  $\mathfrak{R}^*$  — мінімально припустиме число працездатних функціональних компонентів, при якому продуктивність системи не менше необхідної, то оцінкою функціональної живучості може служити функція  $N(\Phi_k, t) = \overline{\Omega}(\Phi_k, t) / (N\omega)$ , де  $\overline{\Omega}(\Phi_k, t)$  — математичне сподівання продуктивності системи в момент часу  $t \geq 0$ ;  $N\omega$  — сумарна продуктивність усіх функціональних компонентів [18, 19].

Аналітична діяльність, яка підтримується засобами ІАС, потребує, як правило, наявності відповідної інформаційної інфраструктури, що забезпечує реалізацію необхідних інформаційних процесів (збору, обробки, накопичення, збереження, пошуку та розповсюдження інформації). Функціонування ІАС можна змодельовувати за допомогою сіткової моделі, вузли якої — суть функціональних компонентів, а дуги — різні канали зв'язку (провідні, бездротові, комбіновані). Реалізація сценарію аналітичної діяльності, як інформаційного процесу, забезпечується паралельно-послідовною роботою сукупності функціональних компонентів, між якими має місце обмін інформацією каналами зв'язку. Інформаційний процес має завершитись за час  $T_z$ , який не перевищує  $T_{дон}$  (максимально допустимий час опрацювання інформації, який залежить від сфери аналітичної діяльності):

$$T_z = (T_f + \sigma_{об}) \leq T_{дон},$$

де  $T_f$  — час, який витрачається на опрацювання інформації функціональними компонентами;  $T_{об}$  — час, витрачений на інформаційний обмін.

Якщо мають місце небажані впливи на ІАС, це може призвести до збільшення часу реалізації інформаційного процесу на  $T_{од}$ . За показник функціональної живучості ІАС можна обрати здійснимість побудови необхідної інформаційної інфраструктури (сукупності функціональних компонентів і каналів зв'язку) при обмеженнях  $(T_f + T_{об} + T_{од}) \leq T_{дон}$ .

У разі порівняння різних варіантів ІАС одного функціонального призначення в якості показника функціональної живучості можна використати число інформаційних інфраструктур, які дозволяють реалізувати «критичний» інформаційний процес (певний сценарій аналітичної діяльності, від якого залежить можливість напрацювання ефективного управлінського рішення).

### **Аналіз та оцінка структурної живучості**

Задача аналізу структурної живучості потребує визначення:

— системної структури (архітектури), необхідної для виконання цілі функціонування ІАС у деякий момент або проміжок часу, коли виникають небажані впливи на систему;

— вимог щодо окремих видів ресурсів системи та їхнього взаємозв'язку;

— вимог щодо функціональних можливостей складових (ресурсів) системи;

— особливостей характеру небажаних впливів чи їхніх наслідків.

Вирішення задачі оцінки структурної живучості ІАС виконується зазвичай при деяких припущеннях, які дозволяють спростити її та звести до задач аналізу зв'язності графів, оцінки ймовірності існування необхідних структур, оцінки ймовірності формування працездатної структури при небажаних впливах тощо.

При дослідженні структурної живучості за допомогою графових моделей [7] сукупність складових ІАС представляють у вигляді вершин графа, а ребра графа відбивають зв'язки між компонентами. Система, коли моделюється графом, вважається зруйнованою, якщо при видаленні вершини або ребра одержаний граф задовольняє одній, чи більше умовам:

— граф складається як мінімум із двох компонентів;

— не існує направлених  $(t_i - t_j)$  шляхів для визначених множин вершин;

— кількість вершин у найбільшій компоненті графа  $G$  менше деякого наперед заданого числа;

— найкоротший шлях  $(t_i - t_j)$  довший за деяку задану величину.

Відповідно система вважається живучою, якщо ці умови не виконуються.

Структурну живучість комунікаційної системи сучасних ІАС зазвичай характеризують різними показниками зв'язності. Обрахування таких показників, наприклад, імовірності зв'язності за умови випадкового існування ребер графа, на практиці стикається зі значними обчислювальними складнощами, оскільки рішення вказаної задачі зводиться фактично до прямого перебору. У той же час, використовуючи шляхи й розрізи графу, що моделює комунікаційну мережу, можна отримувати достатньо прості (в порівнянні з точними методами знаходження від-

повідних характеристик) граничні — верхню й нижню — оцінки потрібного показника (оцінки Цезарі–Прошана, Литвака–Ушакова) [12].

Дослідження зв'язності більшості графів, тобто рішення задачі про те, чи може певний вузол — джерело — здійснити зв'язок з іншим певним вузлом — стоком — у багатьох випадках не дає вичерпного критерію для відповіді на питання про якість функціонування системи з мережевою структурою. Тому проводилися дослідження щодо пошуку інших відповідних показників якості функціонування комунікаційних мереж [12–16].

Важливу групу показників структурної живучості складають так звані «міри живучості». При їхньому визначенні виходять із припущення, що розумний супротивник, знаючи структуру мережі, намагається порушити її функціонування. Мережа має високий показник живучості, якщо необхідно «зруйнувати» велике число вузлів і (або) ребер, щоб відчутно погіршити або зовсім перервати її функціонування.

Таку міру живучості іноді [12] можна умовно назвати «детермінованою мірою надійності» і скористатися нею при початковому плануванні й розробці мереж зв'язку, коли відчувається дефіцит статистичних даних щодо якості функціонування мережі.

У математичній теорії графів міри живучості часто інтерпретуються як кількісні міри зв'язності для структури графа: мінімальний розріз, вузлова зв'язність, узагальнена зв'язність, довжина шляху тощо [3, 7, 12, 13].

При проектуванні комп'ютерних систем задача аналізу структурної живучості формулюється як задача оцінки розміру максимального (зовнішнього) потоку, який може передаватися в мережі при відмовах її елементів при зниженні до дозволеного рівня якості функціонування. При цьому оцінки живучості комунікаційних мереж у залежності від технологій передачі, які в них використовуються, мають враховувати наявність різних видів трафіка (аудіоінформація, відеоінформація, дані, стислі відео й аудіо), різних категорій сервісів, імовірність втрати даних, вимоги до якості виконання обробки.

Традиційно головними вимогами до комунікаційних мереж були висока пропускна здатність, мале значення затримки та добра масштабованість. Сьогодні користувачі ІАС вимагають доступу до інтегрованих сервісів мережі, організації віртуальних приватних мереж (VPN), а також інших інтелектуальних послуг і, зокрема, забезпечення заданої якості обслуговування (QoS).

Широкі можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіка й достатню гнучкість із погляду організації додаткових сервісів, можливість інтегрування мереж IP й ATM надає мережева технологія MPLS (Multiprotocol Label Switching). Для аналізу та оптимізації показників функціонування MPLS мереж використовуються сьогодні саме показники структурної живучості [14], де структурна живучість мережі MPLS розуміється як здатність зберігати функціонування й забезпечувати виконання основних функцій, але можливо з погіршенням якості. У [14] мережа MPLS моделюється графом  $G = (X, E)$ , де  $X = \{x_j\}_{j=1,n}$  — множина вузлів зв'язку та  $E = \{(r, s)\}$  — множина каналів зв'язку мережі. Через  $\{\mu_{rs}\}$  позначається пропускна здатність каналів. Припускається, що мережа в нормальному справному стані передає потоки  $k$  класів сервісу (CoS) у відповідності з мат-



рицями вимог  $H(k) = \|h_{i,j}(k)\|$ ,  $i = \overline{1,n}$ ,  $j = \overline{1,n}$ . Вимоги до показників якості формуються через  $T_{cp}^{(k)}$  — час затримки:

$$T_{cp}^{(k)} = \frac{1}{H_{\Sigma}^{(k)}} \sum_{(r,s) \in E} \frac{f_{rs}^{(k)} \left( \sum_{i=1}^k f_{rs}^{(i)} \right)}{\left( \mu_{rs} - \sum_{i=1}^{k-1} f_{rs}^{(i)} \right) \left( \mu_{rs} - \sum_{i=1}^k f_{rs}^{(i)} \right)} \leq T_{зад}^{(k)} \text{ при } k = 1, 2, 3, 4, \quad (4)$$

де  $\{f_{rs}^{(k)}\}$  — необхідна пропускна здатність каналу зв'язку для потоку сервісу класу  $k$ ;  $H_{\Sigma}^{(k)}$  — загальна величина потоку сервісу класу  $k$ ;  $T_{зад}^{(k)}$  — заданий час.

Структурна живучість мережі MPLS визначається сукупністю показників [14], що є ймовірностями передачі заданої величину потоку в мережі з відмовами, який не менше визначеного відсотку потоку того ж класу в безвідмовній мережі:

$$P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(1) \geq k\% H_{\Sigma}^{\circ}(1)\}, P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(2) \geq k\% H_{\Sigma}^{\circ}(2)\}, \quad (5)$$

$$P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(3) \geq k\% H_{\Sigma}^{\circ}(3)\}, P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(4) \geq k\% H_{\Sigma}^{\circ}(4)\}, \quad k = (50 \div 100),$$

де  $H_{\Sigma}^{\Phi}(i)$  — фактична величина потоку  $i$ -го класу при відмовах;  $H_{\Sigma}^{\circ}(i)$  — потік  $i$ -го класу в мережі в безвідмовному стані. Оскільки апіорі не відомо, якою буде величина максимального потоку кожного класу при відмовах деякого каналу чи вузла зв'язку, спираються на гіпотезу, що загальна структура потоку при відмовах зберігається, тобто при відмовах лишається справедливим зразкове співвідношення величин потоку [13–15]:

$$H_{\Sigma}^{\circ}(1) : H_{\Sigma}^{\circ}(2) : H_{\Sigma}^{\circ}(3) : H_{\Sigma}^{\circ}(4) = H_{\Sigma}^{\Phi}(1) : H_{\Sigma}^{\Phi}(2) : H_{\Sigma}^{\Phi}(3) : H_{\Sigma}^{\Phi}(4). \quad (6)$$

Ця гіпотеза дозволяє ставити та вирішувати задачу аналізу структурної живучості мережі MPLS при варіації показників якості сервісу, показників надійності елементів при обмеженнях на затримку  $T_{cp}$  [14].

Враховуючи оцінки структурної живучості, можна цілеспрямовано вести покращення структури комунікаційної мережі ІАС, обґрунтовано обирати раціональні проектні рішення.

## Інформаційна живучість ІАС

Зростання складності автоматизованих систем, перехід від простої обробки даних до технологічної підтримки процесів прийняття рішень, накопичення унікальних даних і програмного забезпечення, безпосередня участь людини в технологічному ланцюгу опрацювання інформації, системоутворююча роль ІАС в інфраструктурі будь-якої організації роблять, на наш погляд, неповною оцінку яко-

сті функціонування ІАС виключно на основі показників функціональної та структурної живучості.

ІАС є сучасним інструментом синтезу інформації, одержуваної із систем автоматизації оперативної діяльності. Основною специфікою ІАС є накопичення й тривале зберігання даних з оперативних систем і вилучення з них інформації для одержання нового знання. (Інформація, на відміну від даних, дозволяє знижувати невизначеність у деякій галузі). Специфіка аналітичних задач обумовлює наявність в ІАС розвиненого сховища даних або сукупності баз даних і визначення особливих вимог до середовища опрацювання та зберігання даних, гарантуючи схоронність і доступність цих даних протягом усього періоду експлуатації системи. Інформаційні ресурси ІАС мають бути організовані згідно із системними принципами для гарантії виконання таких вимог як чіткість, точність, доступність, швидкість, повнота, узгодженість, структурованість, цілісність й актуальність.

Функціонування ІАС відбувається при постійній взаємодії із зовнішнім середовищем, і досить значну частину такої взаємодії складають різноманітні конфлікти, які суттєво впливають на можливість досягнення загальносистемної цілі. Серед конфліктів, які виникають, є такі, що породжуються через взаємодію системи та зовнішнього середовища, коли наявне цілеспрямоване або ненавмисне створення процесів, які призводять до деструктивних впливів на складові системи або зовнішнього середовища. Такі конфлікти можна розглядати як небажані інформаційні впливи, вони можуть привести до руйнування інформаційних ресурсів, до порушень в інформаційній інфраструктурі та режимах функціонування системи, а іноді навіть до унеможливлення виконання визначених функцій і досягнення цілі функціонування.

Складність і масштабність запитів на пошук даних при виконанні аналітичної роботи, зазвичай розподілене зберігання даних в ІАС обумовлюють жорсткі вимоги щодо надійного та безперебійного функціонування необхідної інформаційної інфраструктури. Технологія побудови інформаційної інфраструктури для проведення аналітичної роботи має забезпечити проведення й завершення аналітичної діяльності (яка може розглядатися як певний інформаційний процес) навіть при виході з ладу або недосяжності деяких функціональних компонентів ІАС, або недосяжності деякої частини даних. Вибір технології роботи з даними має враховувати вимоги щодо захищеності даних, безпечності обробки інформації, конфіденційності (якщо необхідно) напрацьованих знань [9, 10, 16, 17].

Результати аналітичної діяльності залежать від повноти та своєчасності отримання необхідної інформації, яка вилучається з даних, тому в разі недосяжності деякої частини даних і відсутності можливості відновлення доступу до цих даних має вирішуватися задача зміни сценарію аналітичної діяльності, тобто породження нового інформаційного процесу, з використанням механізмів реорганізації. Механізми адаптації, компенсації, розпізнавання, реконструкції, реконфігурації та реорганізації лежать в основі технологій динамічної функціональної побудови системи. Вони дозволяють, варіювати сценарії аналітичної діяльності в залежності від наявних небажаних впливів (конфліктів), корегувати інформаційний процес, враховуючи наявну інформацію.

Використання цих механізмів для підтримки доступності, цілісності та конфіденційності інформації на рівні, необхідному для виконання із заданою якістю цілі функціонування, а саме, виконання сукупності інформаційних процесів для нейтралізації наслідків різноманітних конфліктів, дозволяє говорити про новий аспект такої властивості, як живучість — інформаційну живучість, що притаманна сучасним ІАС. Ця нова категорія понятійного апарату теорії живучості комп'ютерних систем необхідна для характеристики ІАС, які орієнтовані на технології аналітичної діяльності, і найважливішою вимогою для досягнення цілі функціонування в яких є забезпечення точною, і якомога повною інформацією користувачів у будь-який час і там, де інформація потрібна.

1. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Живучесть и надежность сложных систем. Методическое пособие. — Международный научно-учебный центр ЮНЕСКО/МПИ информационных технологий и систем, 2001. — 163 с.
2. Горбачик О.С. Організація корпоративної аналітичної діяльності та сучасні технології її підтримки // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2006. — Т. 8, № 3. — С. 32–39.
3. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. — К.: Наук. думка, 1990. — 184 с.
4. Robert J. Ellison, David A. Fisher, Richard C. Linger, Howard F. Lipson, Thomas A. Longstaff, Nancy R. Mead. Survivable Network Systems: An Emerging Discipline // <http://www.cert.org/research/97tr013.pdf>
5. Robert J. Ellison, David A. Fisher, Richard C. Linger, Howard F. Lipson, Thomas A. Longstaff, Nancy R. Mead. Survivability: Protecting Your Critical Systems // <http://www.cert.org/archive/html/protect-critical-systems.html>
6. Додонов А.Г., Горбачик Е.С., Кузнецова М.Г. Информационные технологии и живучесть сложных систем // Інформаційні технології та безпека: Зб. наук. пр. Вип. 7. — К., Інститут проблем реєстрації інформації, 2004. — С. 19–21.
7. Френк Г., Фрши И. Сети, связь и потоки. — М.: Связь, 1978. — 448 с.
8. Додонов А.Г., Флейтман Д.В. К вопросу живучести корпоративных информационных систем // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 2. — С. 33–41.
9. Кузнецова М.Г. Застосування механізмів підвищення живучості для забезпечення захищеності інформаційного ресурсу у розподілених системах // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2006. — Т. 8, № 3. — С. 40–47.
10. Додонов А.Г., Горбачик Е.С. Обеспечение безопасности на основе средств и механизмов повышения живучести информационных систем // Информационная безопасность. Вып.2. Информационная политика и технологии. — К.: ООО «Епос», 2005. — С. 98–103.
11. Тарасов А.А. Стратегии обеспечения гарантоспособности компьютерных систем // ВКСС. Connect!, 2003. — № 3. — С.13–18.
12. Райнишке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. — М: Радио и связь, 1988. — 208 с.
13. Зайченко О.Ю. Мережі АТМ: моделювання, аналіз і оптимізація. — К., 2003. — 216 с.

14. Зайченко Ю.П., Мохаммадреза Моссавари. Аналіз показників живучості комп'ютерної мережі з технологією MPLS // Вісник Національного технічного університету «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2005. — № 43. — С. 73–80.
15. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. Теоретические основы. — С-Пб.: Политехника, 2002. — 168 с.
16. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем. — К.: НАОУ, 2004. — 226 с.
17. Бородакий Ю.В., Тарасов А.А. О функциональной устойчивости информационно-вычислительных систем // Известия ТРТУ. — 2006. — № 7. — С. 5–12.
18. Павский В.А., Павский К.В., Хорошевский В.Г. Вычисление показателей живучести распределенных вычислительных систем и осуществимости решения задач // Искусственный интеллект.— 2006.— № 4. — С. 28–34.
19. Хорошевский В.Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем. — М.: Радио и связь, 1987. — 256 с.

Надійшла до редакції 06.07.2007