

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ
ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОРІВНЕВОЇ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДАТА-ЦЕНТРУ**

Фролов Дмитро Євгенович

Харківський національний університет радіоелектроніки,
асистент кафедри електронних обчислювальних машин,
dmytro.frolov@nure.ua

**FORMALIZATION OF THE INTEGRAL FAULT-
TOLERANCE CRITERION FOR A MULTILEVEL DATA
CENTER INFORMATION SYSTEM**

Frolov Dmytro

Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant
Professor, Department of Electronic Computers,
dmytro.frolov@nure.ua

The paper proposes a formalized representation of the fault tolerance of a multi-level data center information system through an integral criterion of configuration suitability. The criterion combines the states of components at different levels, the possibility of redundancy coverage, service criticality, inter-level dependencies, the risk of cascading failure propagation, acceptable recovery time, and the resource costs required to maintain the configuration. The proposed representation makes it possible to consider fault tolerance as the result of selecting a configuration capable of maintaining critical services under existing constraints.

Keywords: information system, data center, fault tolerance, criterion, configuration.

Багаторівнева інформаційна система дата-центру (БІС ДЦ) функціонує як взаємозалежна сукупність серверів, мережних сегментів, систем зберігання даних, засобів віртуалізації, прикладних сервісів та механізмів управління ресурсами. Відмова окремого компонента може поширюватися між рівнями, змінювати доступність критичних сервісів, збільшувати тривалість відновлення та підвищувати ресурсні витрати на

підтримання працездатного стану [1]. Сучасні дослідження присвячені класифікаційним підходам до методів забезпечення відмовостійкості БІС [2], відомі методи адаптивного резервування ресурсів [3]. Подальшого уточнення потребує задача формалізації критерію, за яким можна оцінювати придатність альтернативних конфігурацій БІС ДЦ до підтримання критичних сервісів за наявних обмежень.

Метою роботи є формалізація інтегрального критерію конфігураційної придатності БІС ДЦ, який дає змогу оцінювати альтернативні конфігурації за сукупністю компонентних, резервних, міжрівневих, часових, ресурсних та інших ознак.

Нехай L – множина рівнів БІС ДЦ; F_{ϕ} – множина критичних сервісів; $L_f \subseteq L$ – множина рівнів, від яких залежить сервіс f ; $C_{\ell f}$ – множина компонентів рівня ℓ , задіяних у виконанні сервісу f ; $Z(t)$ – множина конфігурацій, доступних у момент часу t .

Тоді вибір відмовостійкої конфігурації доцільно подати через інтегральний критерій:

$$z^*(t) = \arg \max_{z \in Z^{adm}(t)} \left(\frac{\sum_{f \in F_{crit}} \theta_f \Phi_f(z, t) \Psi_f(t) \Omega_f(z, t)}{1 + \alpha C(z, t) + \beta \sum_{\ell \in L} R_{\ell}(z, t) + \gamma N(z, t) + \delta M(z, t)} \right),$$

$$\Phi_f(z, t) = \prod_{\ell \in L_f} \prod_{c \in C_{\ell f}} [a_{\ell c}(t) + (1 - a_{\ell c}(t)) b_{\ell c}(z, t)]^{w_{\ell c f}},$$

$$\Psi_f(t) = \exp \left(- \sum_{l, q \in L_f} \sigma_{\ell q f} p_{\ell q}(t) \right),$$

$$\Omega_f(z, t) = \left(1 + \frac{T_f(z, t)}{T_f^{max}} \circ \left(1 + \frac{V_f(z, t)}{V_f^{max}} \circ \right) \right)$$

$$Z^{adm}(t) = \left\{ z \in Z(t) \left| \begin{array}{l} \forall f \in F_{crit}: T_f(z, t) \leq T_f^{max} \\ \forall f \in F_{crit}: V_f(z, t) \leq V_f^{max} \\ \sum_{\ell \in L} R_{\ell}(z, t) \leq R^{max} \\ I_{\ell q}(z, t) \leq I_{\ell q}^{max} \end{array} \right. \right\}$$

Формула задає вибір конфігурації $z^*(t)$ з множини допустимих конфігурацій $Z^{adm}(t)$ за максимумом інтегрального критерію. Тут: $a_{\ell c}(t)$ – індикатор працездатності компонента c на рівні ℓ ; $b_{\ell c}(z, t)$ – індикатор резервного покриття компонента c у конфігурації z ; $w_{\ell cf}$ – ваговий коефіцієнт важливості компоненту відносно сервісу f ; θ_f – індикатор критичності сервісу; $p_{\ell q}(t)$ – коефіцієнт рівня ризику поширення відмови між рівнями; $\sigma_{\ell qf}$ – коефіцієнт міжрівневої залежності сервісу; $T_f(z, t)$ та $V_f(z, t)$ – очікувана тривалість відновлення і втрати стану даних; $C(z, t)$, $R_\ell(z, t)$, $N(z, t)$, $M(z, t)$ – відповідно нормовані одиниці ресурсних витрат на підтримання конфігурації, використання резервних ресурсів, інтенсивність реконфігураційних дій на умовну одиницю часу та коефіцієнт експлуатаційної складності.

$\Phi_f(z, t)$ відображає рівнево-компонентну придатність конфігурації: працездатний компонент враховується через $a_{\ell c}(t)$, а непрацездатний – через можливість резервного покриття $b_{\ell c}(z, t)$. Отже, критерій оцінює його придатність до підтримання конкретного критичного сервісу. Складова $\Psi_f(t)$ вводить ресурсні обмеження за міжрівневі каскадні залежності, коли відмова одного рівня може вплинути на інші рівні БІС ДЦ – з метою мінімізації втрати ресурсів на рівнях, які потенційно можуть перестати функціонувати.

Складова $\Omega_f(z, t)$ визначає темпоральну придатність відновлення через $T_f(z, t)$ та $V_f(z, t)$. Множина $Z^{adm}(t)$ відсікає конфігурації, що порушують допустимі обмеження часу відновлення, резервного ресурсу або міжрівневої узгодженості. Знаменник критерію обмежує надмірне резервування та реконфігураційну активність, оскільки зростання ресурсних затрат, використання резерву, кількості реконфігурацій знижує інтегральну придатність конфігурації.

Висновки. У роботі формалізовано інтегральний критерій конфігураційної придатності БІС ДЦ. Запропоноване математичне подання дає змогу порівнювати альтернативні конфігурації дата-центру за їх здатністю підтримувати критичні сервіси в умовах часткових відмов і обмеженого резервного

ресурсу. Практичне значення результату полягає у можливості попереднього вибору конфігурації та виявлення варіантів, у яких підвищення відмовостійкості досягається ціною надмірної ресурсної або експлуатаційної складності БІС ДЦ.

Список використаних джерел

1. Ponochovnyi, Y.; Ivanchenko, O.; Kharchenko, V.; Udovyk, I.; Baiev, E. Models for Cloud System Availability Assessment Considering Attacks on CDN and ML Based Parametrization. *CEUR Workshop Proc.* 2022, 3171, 1149–1159.
2. Tkachov V., Ruban I. Integral survivability metric of an information system on a mobile platform under functional cascading and secondary failures. *Innovative technologies and scientific solutions for industries.* 2025. No. 4(34). P. 78–100. URL: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.4.078>.
3. Фролов Д. Є. Метод адаптивного резервування ресурсів у багаторівневих структурах складних інформаційних систем. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* 2025. Т. 2, № 4(95). С. 177–188. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.2.22>.