

**КАТЕГОРНО-ФУНКТОРНА МОДЕЛЬ
ТРАСУВАННЯ ВИМОГ ОБ'ЄКТНОГО СХОВИЩА ДАНИХ**

Цвіркун О.А.

e-mail: oleksandr.tsvirkun@nure.ua

Науковий керівник – д.т.н., проф. Євланов М.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІУС
м. Харків, Україна

The thesis addresses the problem of formalizing requirements for object storage systems to enable their traceability and deviation detection. It shows that textual or weakly structured requirements do not provide an unambiguous transition to configuration decisions, implementation states, and evaluation metrics. A category–functor model is proposed to represent requirements in a formalized form and relate them to configuration profiles, components, states, and metrics. The proposed approach provides a basis for automated traceability, inconsistency localization, and formal comparison of target and actual storage characteristics.

Сучасні інформаційні системи висувають вимоги не лише до прикладної логіки, а й до підсистеми зберігання, у якій мають бути забезпечені доступність, продуктивність, контроль доступу, журналювання, відновлення та ефективне використання ресурсів. Для об'єктних сховищ ці властивості залежать від типу операцій над об'єктами, профілів навантаження та конфігурації середовища. Водночас вимоги до таких сховищ зазвичай подаються у текстовому або слабо структурованому вигляді, що ускладнює їх однозначне перетворення у конфігураційні рішення, стани реалізації та метрики оцінювання. Це зумовлює розрив між потребами зацікавлених сторін, системними вимогами, параметрами сховища та фактичними результатами його функціонування. Тому вже на етапі проєктування виникає необхідність формалізованого опису вимог, який забезпечує їх трасування до профілів, компонентів, станів і метрик, а також виявлення неузгодженості і відхилень між цільовими та фактичними характеристиками об'єктного сховища [1, 2].

Об'єктом дослідження є процес формалізації вимог до об'єктного сховища та їх подальшого перетворення у конфігураційні рішення, спостережувані стани реалізації та метрики оцінювання.

Предметом дослідження є категорно-функторна модель подання і перетворення вимог, яка забезпечує їх трасування від рівня потреб зацікавлених сторін до рівня станів реалізації та контрольованих показників функціонування об'єктного сховища.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що подання вимог у формалізованому вигляді та їх перетворення на основі композиції

функторів між категоріями вимог, профілів навантаження, конфігурацій, спостережуваних станів і метрик забезпечує однозначне трасування від потреб до вимірюваних показників і дає можливість формально виявляти відхилення між цільовими та фактичними результатами.

Методами дослідження є системний аналіз, методи інженерії вимог, елементи теорії категорій, методи порівняльного оцінювання та моніторингу об'єктних сховищ, методи формальної перевірки відповідності.

У межах моделі вводяться категорії вимог

$$R_{fun} \subseteq R_{sys}, R_{nfun} \subseteq R_{sys}, R_{inf} \subseteq R_{sys}, R_{obj} \subseteq R_{sys}, R_{eval} \subseteq R_{sys},$$

де R_{sys} – категорія системних вимог; R_{fun} – категорія функціональних вимог; R_{nfun} – категорія нефункціональних вимог; R_{inf} – категорія вимог до інфраструктури, R_{obj} – категорія вимог до об'єктного сховища; R_{eval} – категорія до оцінювання R_{obj} .

Формалізована вимога розглядається як об'єкт категорії R_{obj} :

$$r = \langle id, src, obj, op, prop, cond, metric, target, verify, links \rangle,$$

де id – ідентифікатор вимоги; src – джерело вимоги; obj – об'єкт; op – операція; $prop$ – контрольована властивість; $cond$ – умови застосування; $metric$ – метрика перевірки; $target$ – цільове значення метрики; $verify$ – спосіб перевірки; $links$ – зв'язки з іншими вимогами, тестами, конфігураціями, компонентами.

Таке подання забезпечує перехід від тестового опису до формального трасування.

Переходи між категоріями задаються функторами:

$$U: R_{stk} \rightarrow R_{sys},$$

$$V: R_{sys} \rightarrow R_{inf},$$

$$W: R_{inf} \rightarrow R_{obj},$$

$$E_r: R_{obj} \rightarrow R_{eval},$$

$$F: R_{eval} \rightarrow K,$$

$$P: K \rightarrow C,$$

$$G: C \rightarrow S,$$

$$Q: S \rightarrow M,$$

де U – функтор, що відображає уточнення та технічної інтерпретації вимог; R_{stk} – категорія вимог зацікавлених сторін; V – функтор, що відображає виокремлення підмножини вимог до інфраструктури; W – функтор, що відображає уточнення вимог до об'єктного сховища; E_r – формування вимог до оцінювання ефективності; K – категорія профілів конфігурації об'єктного сховища; C – категорія конфігурації об'єктного сховища; S – категорія спостережуваних станів реалізацій; M – категорія метрик ефективності.

Тоді композиція $H = Q \circ G \circ P \circ F \circ E_r \circ W \circ V \circ U: R_{stk} \rightarrow M$, задає наскрізне трасування від потреб зацікавлених сторін до метрик ефективності. Це означає, що кожна формалізована вимога може бути зіставлена не лише з конфігураційним рішенням, а й із профілем навантаження, спостережуваним станом і перевіреною метрикою.

Окремим питанням є формування цільових значень метрик. У дослідженні пропонується не задавати їх довільно, а отримувати як результат відображення

$$T: K \times \Gamma \times E_{exp} \rightarrow M^*,$$

де K – профіль конфігурації об’єктного сховища; Γ – множина обмежень і критерії прийнятності; E_{exp} – множина експлуатаційних свідчень аналогічних систем; M^* – категорія цільових значень метрик.

Такий підхід дозволяє пов’язати цільові значення не з абстрактними побажаннями, а з конкретними сценаріями навантаження, умовами прийнятності та емпіричними даними, а не задавати їх зовнішньо.

Фактичні результати оцінювання подаються як об’єкти категорії M_{act} , а відхилення від цільових значень визначається як

$$\Delta M = M_{act} - M,$$

де ΔM – множина невідповідностей між фактичними і цільовими метриками.

Предикат відповідності фактичних значень метрик цільовим значенням і набуває значення істина, якщо вимоги виконано, та хибна – у протилежному випадку, має вигляд:

$$Check(M_{act}, M^*) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } M_{act} \models M^* \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases},$$

де знак « $\models$ » позначає відношення відповідності фактичних значень цільовим.

Саме ця частина моделі забезпечує формальне виявлення неузгодженостей між вимогами та фактичним функціонуванням підсистеми зберігання.

Запропонована в роботі модель забезпечує формалізоване подання вимог до підсистеми зберігання даних, їх наскрізне трасування до конфігурацій, станів реалізації та метрик, а також створює основу для формального виявлення відхилень між цільовими і фактичними результатами.

Список використаних джерел:

1. ISO/IEC/IEEE 29148:2018 – Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering. URL: <https://www.iso.org/standard/72089.html> (дата звернення: 13.03.2026).
2. Performance guidelines for Amazon S3 – Amazon Simple Storage Service. URL: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/optimizing-performance-guidelines.html> (дата звернення: 13.03.2026).