

ICuRM: ФРЕЙМВОРК КООРДИНАЦІЇ РИЗИКІВ МІЖ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИМИ СИСТЕМАМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Julian Maj¹, Черненко Ю.², Строга А.³, Борисова Н.⁴

¹WSHIU Academy of Applied Science, Poznan, Poland

²ЗВО «Міжнародний університет бізнесу і права», м. Херсон, Україна

³Вищий навчальний заклад «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна

⁴ТОВ «Девлаб Україна», м. Київ, Україна

Анотація. У роботі запропоновано фреймворк ICuRM для координації ризиків між газовою, водною та тепловою / електричною інфраструктурою в реальному часі. Він усуває три проблеми спільного реагування: відсутність єдиної шкали ризику, нечіткі правила ескалації та повільний обмін подіями між суміжними службами. ICuRM поєднує три модулі: eURI – індекс ризику 0–100; ACM+ – адаптивну модель ескалації рішень із часовими вікнами реагування; CEDEX – захищений обмін подіями у форматі JSON/TLS. Пілот на чотирьох анонімізованих організаціях показав покращення операційних результатів у межах 15–25%, зокрема скорочення часу відновлення, зменшення затримок і швидше виявлення витоків. Фреймворк може інтегруватися в ERP-BPMS або SCADA-середовище як модуль міжорганізаційної координації.

Ключові слова: координація ризиків; критична інфраструктура; ICuRM; фреймворк координації; ескалація рішень; захищений обмін подіями.

ICuRM: A FRAMEWORK FOR RISK COORDINATION BETWEEN INTERDEPENDENT LIFE-SUPPORT SYSTEMS

Julian Maj¹, Chernenko Y.², Stroha A.³, Borysova N.⁴

¹WSHIU Academy of Applied Science, Poznan, Poland

²International University of Business and Law, Kherson, Ukraine

³«KROK» University of Economics and Law, Kyiv, Ukraine

⁴Devlab Ukraine LLC, Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper proposes the ICuRM framework for real-time risk coordination between gas, water, and thermal / electrical infrastructure. It addresses three barriers to joint response: the lack of a unified risk scale, unclear escalation rules, and slow event exchange between adjacent services. ICuRM combines three modules: eURI, a 0–100 risk index; ACM+, an adaptive escalation model with response time windows; and CEDEX, secure JSON/TLS event exchange. A pilot across four anonymized organizations showed 15–25% operational improvements, including shorter recovery time, fewer delays, and faster leak detection. ICuRM can be integrated into ERP-BPMS or SCADA as an interorganizational coordination module.

Keywords: risk coordination; critical infrastructure; ICuRM; coordination framework; escalation of decisions; secure event exchange.

Вступ. Газові, водні, теплові та електричні мережі залишаються взаємозалежними, але ризики в них часто оцінюються окремо. Локальний збій у суміжній службі може спричинити каскадне порушення послуг, затримати ремонт і подовжити відновлення. Необхідність координованого реагування відображена у європейській рамці стійкості критичних суб'єктів та міжнародних настановах з інцидентного управління й обміну інформацією [1-3]. Наявні цифрові рішення підтримують внутрішні процеси організацій, однак не повністю закривають міжмережеву координацію в реальному часі [4-6]; систематичні огляди підтверджують нестачу єдиних підходів, що поєднують метрики ризику, ескалацію та обмін даними [7, 8].

Мета роботи. Розробити і перевірити фреймворк координації ризиків між взаємозалежними системами життєзабезпечення, що поєднує спільний індикатор ризику, правила ескалації та захищений обмін подіями між суміжними службами.

Постановка проблеми. Ізольоване управління ризиками у газових, водних, теплових та електричних мережах ускладнює спільне реагування на каскадні інциденти. Відсутність

єдиної шкали ризику, формалізованих правил ескалації та оперативного обміну подіями знижує ефективність суміжних служб і зумовлює потребу в інтегрованому фреймворку координації.

Основна частина. Фреймворк ICuRM побудований як єдиний цифровий контур із трьох модулів (рис. 1). eURI (Enhanced Unified Risk Index) формує індекс ризику 0–100, об'єднуючи ймовірність порушення, очікуваний вплив, каскадність, мінливість середовища, резервування та середній час відновлення. Завдяки цьому суміжні служби отримують спільну числову оцінку замість розрізнених локальних сигналів.

ACM+ (Adaptive Council Model Plus) переводить eURI в управлінське рішення: $eURI < 30$ — моніторинг; $30-50$ — швидка координація до 10 хвилин; $50-70$ — технічний комітет до 30 хвилин; $eURI \geq 70$ — стратегічна рада до 90 хвилин. Це уточнює, хто діє, коли залучати керівництво і на якому рівні перерозподіляти ресурси.

CEDEX (Cross-Utility Event Data Exchange) забезпечує швидкий і захищений обмін подіями у форматі JSON/TLS. Архітектура ICuRM підтримує інтеграцію з ERP-БPMS або SCADA-середовищем.

Фреймворк працює в циклі DAPEL:

виявлення — оцінювання — планування реагування — виконання — навчання.

Система зберігає цифровий слід рішення, дає змогу коригувати пороги eURI, сценарії реагування та правила ескалації, тому придатна не лише для одноразової реакції, а й для накопичення організаційного досвіду.

Сигнали з газової, водної та теплової / електричної мереж агрегуються в eURI; ACM+ задає рівень ескалації; CEDEX забезпечує захищений обмін подіями; зворотний зв'язок Learn використовується для коригування порогів і сценаріїв.

Результати пілотної перевірки. ICuRM перевірено на чотирьох анонімізованих організаціях різного масштабу та цифрової зрілості: житлово-комунальному операторі, будівельно-іригаційній компанії, водному технологічному стартапі та великій енергетично-водній компанії. У всіх випадках порівнювався стан до і після впровадження.

Шестимісячний пілот показав покращення операційних показників у межах 15–25%: скорочення часу відновлення між суміжними мережами приблизно на 20%, зменшення затримок проєктів на 15%, швидше виявлення витоків на 25% та зниження простою під час великих інцидентів на 20%.

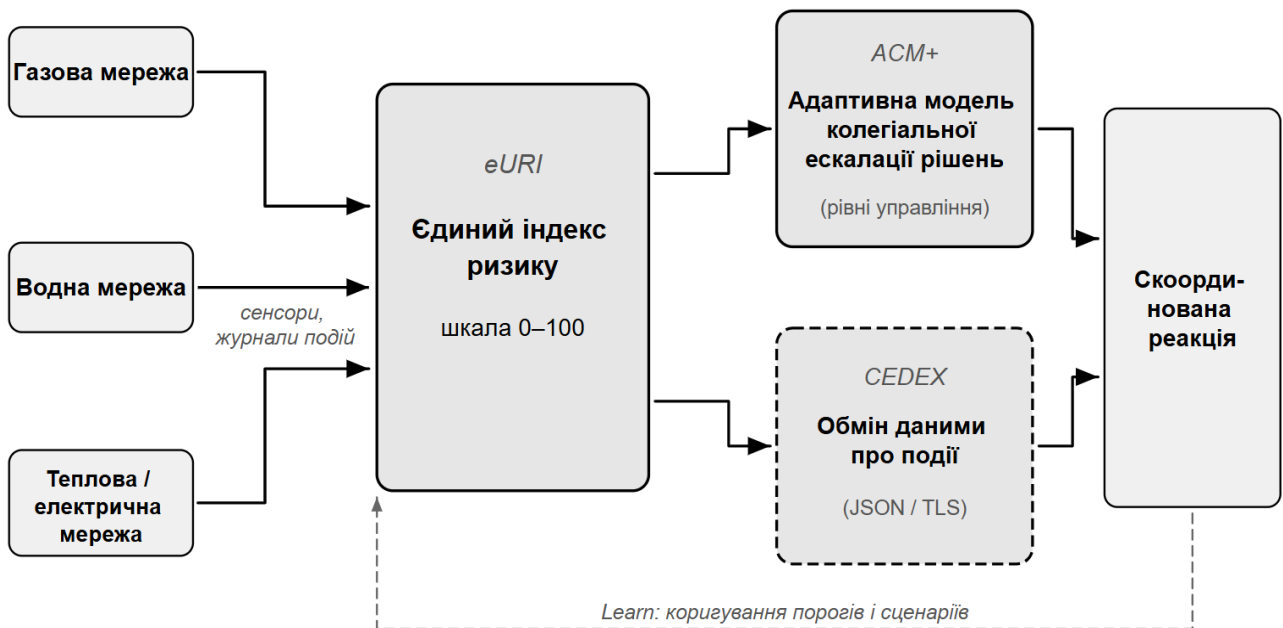


Рис. 1. Архітектура ICuRM для координації ризиків між суміжними системами життєзабезпечення

Стійкість eURI перевірено за 10 000 ітерацій Монте-Карло: при варіації вхідних параметрів $\pm 30\%$ відхилення індексу становило $\pm 5\text{--}7\%$. Для CEDEX середня затримка обміну становила 0,9–1,4 с, максимальна — 1,5 с, а втрати пакетів були нижчими за 0,2%.

Отримані результати є контекстно залежними, але свідчать про переносимість фреймворку для організацій з різною цифровою зрілістю — від ERP-БРМС-контуру до SCADA-середовища.

Місце фреймворку в системі управління. ICuRM доцільно розглядати як спеціалізований модуль міжорганізаційної координації у ширшій системі інтегрованого протиризикового управління. У середовищі ERP-БРМС або SCADA він замикає саме міжорганізаційний рівень, роблячи рішення між службами відтворюваними, порівнюваними та придатними до аудиту.

Висновки.

1. ICuRM переводить фрагментовані сигнали з різних мереж у спільну шкалу ризику та прив'язує її до управлінських дій.
2. Поєднання eURI, АСМ+ і CEDEX зменшує затримку між виявленням загрози та спільним реагуванням і дає вимірюваний операційний ефект.
3. Фреймворк може інтегруватися в ERP-БРМС або SCADA як модуль міжорганізаційної координації та масштабуватися на інші сектори критичної інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council on the resilience of critical entities. Official Journal of the European Union, 2022
2. ISO 22320:2018. Security and resilience — Emergency management — Guidelines for incident management. Geneva: ISO, 2018.
3. ISO 22396:2020. Security and resilience — Community resilience — Guidelines for information exchange between organizations. Geneva: ISO, 2020.
4. Chernenko, Y., Danchenko, O., Mysnyk, B., Bielova, O., Adamov, O. Optimizing Housing and Communal Services Management Through Digital Transformation and Integrated Information Systems. In: Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 222. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-71804-5_3.
5. Chernenko, Y., Teslenko, P. Integration of Stakeholder Management and Risk Management Methods in Projects of Housing and Communal Services Providers. Technology Audit and Production Reserves. 2024. Vol. 2, No. 4(76). P. 6–10. DOI: 10.15587/2706-5448.2024.301995
6. Chernenko, Y., Bedrii, D., Haidaienko, O., Meliksetov, O. Mitigating Operational Risks in Critical Infrastructure Through Integrated ERP-БРМС: A Multi-Case Study. Technology Audit and Production Reserves. 2025. Vol. 3, No. 4(83). P. 53–63. DOI: 10.15587/2706-5448.2025.330660
7. Brunner, L. G., Zorn, C., Logan, T. M., Peer, R. A. M., Paulik, R. Understanding cascading risks through real-world interdependent urban infrastructure. Reliability Engineering & System Safety. 2024. Vol. 241. Article 109653. DOI: 10.1016/j.ress.2023.109653.
8. Sathurshan, M., Saja, A., Thamboo, J., Navaratnam, S., Haraguchi, M. Resilience of Critical Infrastructure Systems: A Systematic Literature Review of Measurement Frameworks. Infrastructures. 2022. Vol. 7, No. 5. Article 67. DOI: 10.3390/infrastructures7050067