УДК 004.415.2:004.75:005.8

ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ РИЗИКІВ ПРИ РОЗРОБЦІ МАСШТАБОВАНИХ ВЕБСИСТЕМ

Сіголаєв Є.В.[1]; Єгоращенко І.В.[2]
[1,2] Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2] Україна, Одеса
[1]sigolaiev@op.edu.ua; [2]yehorashchenko.i.v@op.edu.ua

Анотація. *У роботі розглянуто підходи до побудови моделей ризиків при розробці масштабованих вебсистем. Проаналізовано класифікацію ризиків, що виникають у процесі проєктування, розгортання та експлуатації систем із мікросервісною архітектурою. Запропоновано структурну, математичну та динамічну моделі оцінювання ризиків.*
Ключові слова: *моделювання ризиків; масштабовані вебсистеми; надійність; архітектура; моніторинг.*

Вступна частина. Розробка масштабованих вебсистем супроводжується високим рівнем невизначеності, пов'язаної з технічними, організаційними та експлуатаційними ризиками. У сучасних умовах стрімкого зростання навантаження на вебплатформи, розширення обсягів даних і збільшення кількості користувачів особливої актуальності набувають питання забезпечення надійності, продуктивності та безперервності роботи систем. Недооцінка ризиків на ранніх етапах розробки може призвести до критичних наслідків: перевантаження серверів, втрати даних, порушення безпеки або зниження якості обслуговування користувачів [1].

Сучасні підходи до управління ризиками у сфері веброзробки потребують використання формальних методів моделювання, що дозволяють ідентифікувати, класифікувати та оцінювати можливі загрози ще до етапу розгортання системи. Особливе значення має побудова моделей ризиків, які враховують архітектурні особливості масштабованих вебсистем – розподіленість компонентів, використання мікросервісної структури, динамічне балансування навантаження та залежність від зовнішніх сервісів [2].

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності створення методології, яка дозволяє поєднати інженерні підходи з формальними моделями ризиків для забезпечення стабільності та прогнозованості функціонування вебсистем у різних умовах експлуатації.

Метою дослідження є розроблення моделей ризиків, що дозволяють ідентифікувати, оцінювати та прогнозувати потенційні загрози під час проєктування і розробки масштабованих вебсистем, а також визначати заходи з мінімізації їх впливу на продуктивність, безпеку та надійність програмного продукту.

Основна частина. Сучасна веброзробка характеризується високим рівнем складності та динамічності, що зумовлює потребу в системному підході до управління ризиками. Ризики у вебпроєктах виникають на всіх етапах життєвого циклу, і можуть суттєво впливати на її масштабованість, продуктивність та безпеку. Серед актуальних підходів до управління ризиками виокремлюють процесно-орієнтований, модельно-орієнтований та аналітичний підходи [3]. Перший базується на впровадженні процедур контролю в межах кожного етапу життєвого циклу програмного забезпечення (наприклад, згідно з рекомендаціями ISO/IEC 31000). Другий орієнтований на формалізацію взаємозв'язків між чинниками ризику через побудову моделей залежностей, що дає змогу прогнозувати наслідки їхнього впливу.

Аналітичний підхід передбачає використання кількісних методів – статистичного аналізу, теорії ймовірностей та нечіткої логіки – для оцінки рівня ризику на основі фактичних даних.

Ризики, притаманні масштабованим вебсистемам, можна класифікувати за кількома основними категоріями. Технічні ризики пов'язані з відмовами серверів, помилками конфігурації або некоректною інтеграцією компонентів. Архітектурні ризики виникають через недоліки у структурі системи, що обмежують її масштабування чи гнучкість при розподілі навантаження. Експлуатаційні ризики охоплюють помилки користувачів, перевищення очікуваного трафіку та збої при оновленні системи. Безпекові ризики зумовлені уразливостями в коді, несанкціонованим доступом або DDoS-атаками. Комплексне врахування цих груп ризиків є необхідною умовою для забезпечення стабільності масштабованих вебплатформа [4].

Існуючі моделі оцінювання ризиків у програмній інженерії поділяються на детерміновані, ймовірнісні та гібридні. Детерміновані моделі ґрунтуються на експертних оцінках і структурних зв'язках між елементами системи. Ймовірнісні підходи (зокрема, байєсівські мережі та метод Монте-Карло) дозволяють враховувати невизначеність і динамічний характер впливу ризиків. Гібридні моделі поєднують математичні методи з аналітичними та емпіричними підходами, що забезпечує гнучкість і точність оцінювання. Їх застосування в проєктуванні масштабованих вебсистем дає змогу визначати критичні вузли архітектури, прогнозувати потенційні відмови та підвищувати загальну надійність системи.

Під час моделювання ризиків у масштабованих вебсистемах необхідно визначити ключові параметри, що впливають на їх стабільність і працездатність. До таких параметрів належать кількість одночасних запитів, швидкість обробки даних, час відгуку серверів, наявність резервних механізмів і стійкість до відмов компонентів. Основними чинниками ризику є невідповідність апаратних ресурсів очікуваному навантаженню, помилки конфігурації мікросервісів, неузгодженість транзакцій, вразливості безпеки та людський фактор під час супроводу системи.

Процес управління ризиками формалізується як послідовність етапів: ідентифікація, аналіз, оцінювання, реагування та моніторинг. На етапі ідентифікації визначаються потенційні джерела ризику, далі здійснюється кількісна або якісна оцінка їх імовірності та наслідків. Результати аналізу використовуються для розроблення стратегії реагування (запобігання, мінімізації або перенесення ризику). Постійний моніторинг дозволяє адаптувати модель ризиків до змінних умов експлуатації та розвитку системи.

Для кількісного оцінювання ризиків у вебсистемах використовуються метрики, що відображають продуктивність і надійність системи. До основних належать: MTBF (mean time between failures) – середній час між відмовами, MTTR (mean time to recovery) – середній час відновлення працездатності, response time – середній час відгуку системи, error rate – частота виникнення помилок, availability – показник доступності сервісу. Ці метрики дозволяють формувати формалізовану модель оцінювання ризиків, яка поєднує технічні параметри з імовірнісними оцінками, забезпечуючи об'єктивну базу для подальшого прогнозування ризикових ситуацій у масштабованих вебсистемах.

Побудова моделей ризиків для масштабованих вебсистем базується на структурному, математичному та динамічному підходах, які забезпечують комплексне представлення можливих загроз і сценаріїв їхнього розвитку. На першому етапі формується структурна модель ризиків, яка відображає взаємозв'язки між причинами, подіями та наслідками. Для цього використовуються діаграми причинно-наслідкових зв'язків (cause-and-effect diagrams), що дозволяють систематизувати джерела ризиків за категоріями (технічними,

організаційними, людськими й зовнішніми). Такий підхід допомагає виявити критичні вузли системи, де ймовірність помилок або відмов є найвищою, і визначити, як один тип ризику може ініціювати інші, створюючи каскадні ефекти.

Кількісний аналіз ризиків виконується з використанням математичних і ймовірнісних методів. Для оцінювання ймовірності настання ризикових подій застосовуються статистичні моделі, зокрема байєсівські мережі, метод Монте-Карло та аналіз чутливості (sensitivity analysis). Байєсівські мережі дають змогу моделювати взаємозалежність між різними чинниками ризику, тоді як симуляційні методи дозволяють оцінити розподіл наслідків на основі варіативності вхідних параметрів. Для більш точної оцінки рівня ризику може бути використано метод нечітких множин, який враховує невизначеність і нечіткість експертних оцінок. Результати математичного аналізу формують основу для кількісного порівняння ризиків і визначення пріоритетів у їх мінімізації.

Для відображення динаміки змін рівня ризику при масштабуванні системи створюється динамічна модель ризиків, яка враховує часові фактори, інтенсивність навантаження та адаптивні механізми архітектури. Така модель дозволяє прогнозувати, як зростання кількості користувачів, розподіл трафіку або зміни у конфігурації мікросервісів впливають на імовірність відмов. Вона реалізується у вигляді системи диференціальних або стохастичних рівнянь, що описують поведінку показників ризику у часі. Завдяки цьому розробники можуть визначити критичні точки, у яких необхідно застосувати балансування, резервування або оптимізацію ресурсів для запобігання збоям.

Ефективне управління ризиками у масштабованих вебсистемах неможливе без інтеграції моделі ризиків у процес проєктування архітектури. На етапі проєктування вебсистеми модель ризиків використовується як допоміжний інструмент для вибору архітектурних рішень: вибору способу розподілу навантаження, структури сервісів і методів зберігання даних. Модель дозволяє оцінити вплив кожного архітектурного компонента на загальну надійність системи та вибрати оптимальну конфігурацію, яка мінімізує потенційні загрози.

Особливу роль відіграють механізми контролю ризиків у мікросервісній архітектурі, де важливо забезпечити ізольованість компонентів, відмовостійкість сервісів і гнучке масштабування. Для цього застосовуються такі підходи, як circuit breaker pattern, rate limiting, health check endpoints і replication management, які дозволяють виявляти та локалізувати відмови без порушення загальної роботи системи. Також реалізується журналювання (logging) і трасування запитів (distributed tracing), що забезпечує простежуваність усіх транзакцій і полегшує діагностику критичних подій.

Для виявлення ризиків у реальному часі використовуються моніторингові та аналітичні інструменти, зокрема Prometheus, Grafana, ELK Stack та Azure Monitor. Вони дають змогу здійснювати безперервне спостереження за ключовими метриками системи – навантаженням процесора, використанням пам’яті, кількістю помилкових запитів, часом відповіді серверів. Інтеграція таких інструментів із моделлю ризиків дозволяє не лише виявляти потенційні загрози, а й автоматично реагувати на них за допомогою тригерів або систем сповіщень. Таким чином, архітектурне забезпечення управління ризиками формує замкнутий контур моніторингу, аналізу та адаптивного реагування, що підвищує стійкість і надійність масштабованих вебсистем.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено комплексний підхід до побудови моделей ризиків при розробці масштабованих вебсистем. Запропонована методологія поєднує структурні, математичні та динамічні моделі, що дозволяє не лише

ідентифікувати та оцінювати ризики, але й прогнозувати їхній розвиток у процесі масштабування системи. Створена структурна модель на основі причинно-наслідкових зв'язків забезпечує систематизацію джерел ризику, тоді як математичні методи, зокрема ймовірнісні та симуляційні, підвищують точність кількісного аналізу.

Динамічна модель ризиків продемонструвала ефективність у прогнозуванні поведінки системи під час зростання навантаження, дозволяючи своєчасно виявляти критичні точки і визначати оптимальні стратегії масштабування. Інтеграція моделі ризиків у процес архітектурного проєктування та експлуатації вебсистеми сприяє підвищенню її надійності, безпеки та стійкості до відмов.

Практичне впровадження розробленого підходу дає змогу ефективно застосовувати його у DevOps-середовищах і мікросервісних архітектурах, забезпечуючи автоматизований контроль ризиків у реальному часі. Перспективи подальших досліджень полягають у використанні методів машинного навчання для адаптивного прогнозування ризикових подій, а також у створенні інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі аналізу ризиків у розподілених вебплатформах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Aven, T. (2016). *Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation.* European Journal of Operational Research, 253(1), 1–13.
[2] Rios, I.D., Ruggeri, F., & Soyer, R. (2018). *Risk analysis and Bayesian inference in engineering and economics.* Reliability Engineering & System Safety, 176, 176–190.
[3] Ahmed, A., & Hossain, M.S. (2020). *Modeling and mitigation of software risks in large-scale web-based systems using probabilistic approaches.* Journal of Systems and Software, 165, 110569, pp. 1–14.
[4] Chen, Y., & Bahsoon, R. (2022). *Architectural risk modeling for cloud-native and microservice-based systems.* Information and Software Technology, 147, 106875, pp. 1–12.

Sigolaiev E.V., Yehorashchenko I.V.

Construction of risk models in the development of scalable web systems

Abstract. *The paper examines approaches to constructing risk models in the development of scalable web systems. The classification of risks arising during the design, deployment, and operation of systems with microservice architecture is analyzed. Structural, mathematical, and dynamic models for risk assessment are proposed.*

Keywords: *risk modeling; scalable web systems; reliability; architecture; monitoring.*