

# Математичне та комп'ютерне моделювання складних систем

УДК 614: 347.76

М.І. Адаменко<sup>1</sup>, В.В. Березуцький<sup>2</sup>, Н.Г. Кучук<sup>1</sup>, О.Ю. Палант<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

<sup>2</sup> Національний технічний університет «ХПІ», Харків

<sup>3</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

## ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНИЙ РИЗИК ВІДМОВИ СИСТЕМИ ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

*В статті розглянуті питання оцінки загальносистемного ризику відмови системи після проведення її модернізації. Постановка завдання доповнена прикладом, котрий підтверджує необхідність врахування всіх значимих факторів ризику. Для розрахунку оцінки запропонований двохетапний метод, котрий дозволяє за допомогою багатфакторного аналізу визначити значимі фактори ризику та їх вагові коефіцієнти. Безпосередня оцінка загальносистемного ризику розраховується з використанням апарату ризик-орієнтованого підходу.*

**Ключові слова:** загальносистемний ризик, багатфакторний аналіз, оцінка ризику.

### Вступ

Важливою складовою частиною теорії та практики управління складними системами є оцінка та врахування ризику під час здійснення господарської модернізації системи. При цьому однією із **актуальних** проблем є комплексна системна оцінка ризиків за всіма параметрами з отриманням загального ризику при визначенні факторних ризиків. Складові даної проблеми розглядалися у роботах [1 – 10], але загальна оцінка із врахуванням відповідного внеску всіх факторних ризиків не розглядалася.

**Мета статті:** розробити метод оцінки загальносистемного ризику відмови системи після проведення її модернізації.

### 1. Основні визначення в контексті дослідження

Наведемо декілька визначень з поясненням, в якому сенсі вони сприймаються авторами, враховуючи контекст дослідження.

1. *Стаціонарна (итатна) робота системи.* Система повністю і своєчасно виконує функції, для яких створена. Всі елементи працюють згідно із завданням, всі зв'язки не порушуються.

2. *Загроза часткової відмови.* Роль одного або декількох елементів у системі переходить на інший рівень, при цьому зв'язки слабшають. Однак, дане положення ще не призводить до часткової відмови.

3. *Часткова відмова.* Система продовжує працювати в стаціонарному режимі, повністю викону-

ючи свої функції. Однак ряд елементів виключається з системи або порушується ряд зв'язків.

4. *Відмова системи.* За рахунок накопичення часткових відмов система не виконує якусь частину своєї функції, виконує їх не правильно або несвоечасно.

5. *Загальносистемна відмова системи.* Система повністю не виконує своє призначення або виконує його в абсолютно неприпустимі проміжки часу.

Відразу відзначимо, що у разі загрози часткової відмови система потребує діагностики, у разі часткової відмови – коригування роботи, у разі відмови – часткового або повного реформування, у разі повної відмови – або повного переформатування, або заміни іншою системою.

### 2. Приклад та постановка завдання

Розглянемо дії особи, що приймає рішення (скороч. ОПР), які можуть призвести до повної відмови системи після її модернізації зі стану часткової відмови. Припустимо, система не задовольняє свого керівника за економічним критерієм отримання прибутку та критерієм необхідності великих вкладень у утримання системи.

Керівник приймає рішення на модернізацію системи за схемою (рис. 1).

Припустимо, що у якості оператора ОПР застосував найбільш логічні з його точки зору дії:

- підвищив вартість проїзду;
- знизив заробітну плату працівникам;
- знизив витрати на ремонт рухомого складу.

Після застосування оператора перетворення і в наслідок дій ОПР пасажиропотік повністю перейшов на альтернативний вид транспорту у зв'язку з неможливістю оплат проїзду, звільнилися найбільш

досвідчені фахівці, яких не влаштує рівень заробітної плати, вийшла з ладу вагома частина рухомого складу. Як наслідок маємо, що модернізована система є системою з загальносистемною відмовою.

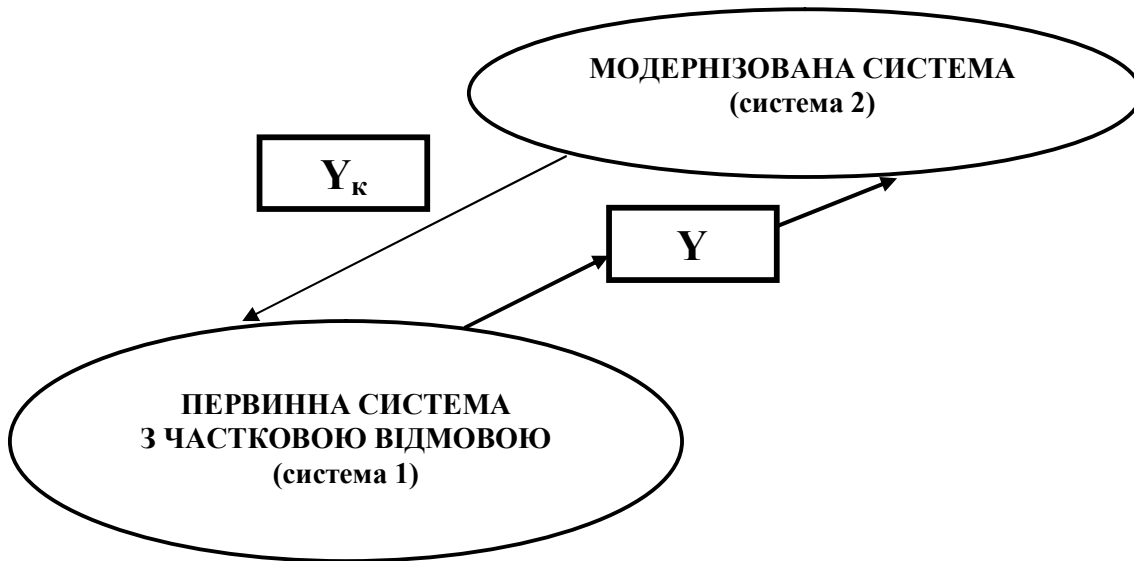


Рис. 1. Схема модернізації системи з частковою відмовою:  
 $Y$  – оператор модернізації (сукупність рішень ОПР, необхідні для втілення);  
 $Y_k$  – корегуючий оператор зворотного зв'язку

Є зрозумілим, що приклад є надто примітивним. Але він призводить до двох дуже важливих висновків.

По-перше, стратегічним задумом ОПР могло бути з самого початку руйнування системи, як результат дій модернізації. У якості мотивів припустимо наступне: ОПР мав на увазі, що первинна система не може бути ефективно реструктуризована і підлягає знищенню за заміною іншою, що кардинально відрізняється. Розуміючи, що після модернізації у дуже короткий термін модернізована система буде прибутковою на достатньому рівні, перед руйнуванням системи ОПР отримав максимально мож-

ливий прибуток та знищив систему з отриманням максимального прибутку від реалізації її елементів. По-друге, ОПР не врахував усіх складових початкового завдання на модернізацію та ризику своїх дій. Якщо маємо перший варіант, то дії ОПР були повністю виправданими і привели до бажаного результату, тобто модернізована система знищується і у подальшому не підлягає розгляду.

Якщо сценарій розвивався за другим варіантом, то потрібно нове модернізування системи, або її переформатування, вже зі значно більшим ризиком та зі значно більшими витратами, як це показано на (рис. 2)

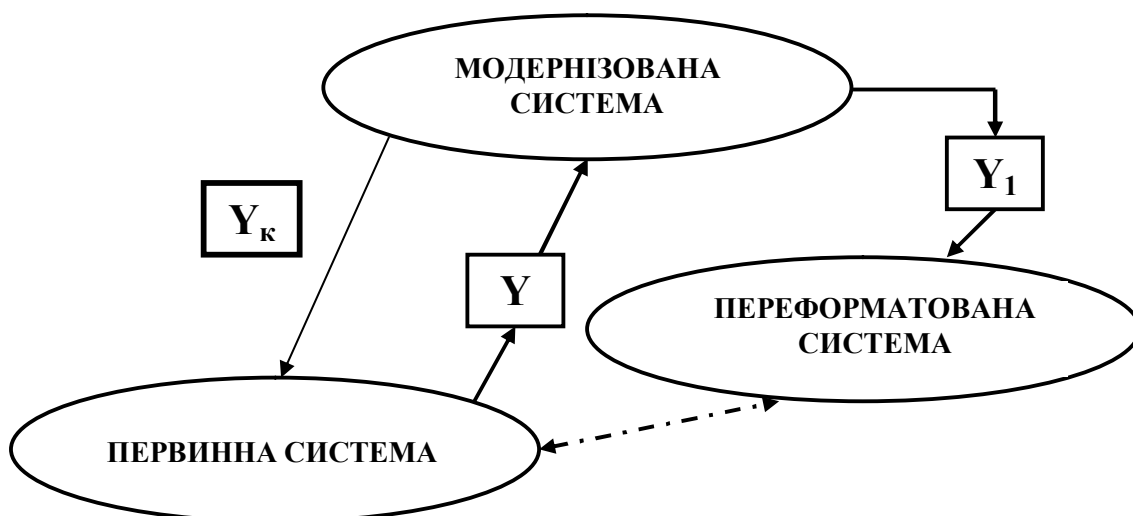


Рис. 2. Схема вторинної модернізації або переформатування системи:  $Y_1$  – оператор переформатування

Потрібно відзначити, що головним розрахунком ризику у цьому випадку буде ризик перевищення витрат на вторинну модернізацію, що знов таки не буде компенсовано штатною роботою вторинної модернізованої системи. Як наслідок приведе на неможливості її поточного фінансового, технічного та кадрового утримання і як наслідок знову ж до руйнування.

Наведені приклади свідчать про те, що ефективним з точки зору глобальної модернізації системи буде тільки комплексна системна оцінка ризиків за всіма параметрами з отриманням загального ризику при визначенні факторних ризиків, тобто

$$R_{3C} = F(R_{1\Phi}, R_{2\Phi}, \dots), \quad (1)$$

де  $R_{3C}$  – загальносистемний ризик;  $R_{1\Phi}, R_{2\Phi}, \dots$  – ризики за окремими факторами.

Формування функціональної залежності  $F$  та розв'язання (1) потребує первинних досліджень по вагомості кожного з факторів ризику для особи, яка приймає рішення.

Для цього пропонується двохетапний метод визначення оцінки загальносистемного ризику відмови системи після модернізації внаслідок помилки у початковому завданні.

### 3. Визначення вагових коефіцієнтів ризиків за окремими факторами

Серед багатьох методів визначення вагових коефіцієнтів ризиків за окремими факторами в умовах модернізації існуючої системи найбільш прийнятним є метод багатофакторного аналізу для визначення множини значимих факторів. При його застосуванні потрібно виконати таку послідовність дій:

- 1) визначення допустимого рівня значимості окремих факторів ризику –  $\alpha$ ;
- 2) визначення факторної структури;
- 3) визначення максимальної кількості факторів ризику, що аналізуються, за допомогою критерію Кеттла;
- 4) факторизація матриці сумісних кореляцій та формування матриці факторних навантажень, визначених до процесу обертання;
- 5) здійснення процесу прямокутного варімакс-обертання (varimax normalized) та проведення попередньої ідентифікації;
- 6) поліпшення якості факторної структури за принципом Терстоуна;
- 7) розрахунок умовного навантаження та факторних коефіцієнтів.

Отримані в результаті наведеного алгоритму факторні коефіцієнти  $k_n$  є незалежними та відображають структуру як структуру взаємозв'язків окремих факторів, так і вплив кожного із факторів на функціонування системи. Використовуючи  $t$ - критерій Стьюдента можна визначити ті фактори ризику,

для котрих вплив на функціонування системи перевищує зазначений рівень значимості, тобто визначимо відповідну множину факторів ризику таким чином:

$$\mathfrak{R} = \{R_{n\Phi} \mid t(R_{n\Phi}) \leq t_{\alpha}\}, \quad \text{card } \mathfrak{R} = N. \quad (2)$$

Множина (2) дозволяє визначити вагові коефіцієнти всіх її елементів:

$$\beta_n = \frac{k_n}{\sum_{i=1}^N k_i} \quad \forall n \in \overline{1, N}; \quad \sum_{n=1}^N \beta_n = 1. \quad (3)$$

### 4. Оцінка загальносистемного ризику відмови системи після модернізації

Для вибору критерію ефективності при застосуванні комплексної системної оцінки ризиків застосуємо ризик-орієнтований підхід із інструментарієм ймовірнісного аналізу безпеки. Для кожного окремого фактору ризику з тих, що аналізуються, визначимо нормований показник безпеки

$$P_n = \sum_{k=1}^{\theta_n} \lambda_n \left( 1 - \prod_{j=1}^{M_{kn}} \prod_{i=1}^{N_{knj}} (1 - p_{knji}) \right), \quad (4)$$

де  $\lambda_n$  – частота впливу даного фактору;  $\theta_n$  – кількість дерев подій, для котрих визначається відповідний показник безпеки;  $M_{kn}$  – кількість послідовностей в  $k$ -му дереві подій, що призводять до руйнування системи;  $N_{knj}$  – кількість мінімальних зрізів  $j$ -ї послідовності в  $k$ -му дереві подій для  $n$ -го фактору ризику;  $p_{knji}$  – ймовірність виникнення  $i$ -го мінімального зрізу у  $j$ -й послідовності в  $k$ -му дереві подій для  $n$ -го фактору ризику.

В свою чергу, ймовірність реалізації мінімального зрізу в загальному випадку залежить як від ймовірностей відмов підсистем або елементів, так і від похибок в обслуговуванні:

$$P_{knji} = \prod_{\xi_1 \in \Xi_{1n}} P_{n\xi_1} \cdot \prod_{\xi_2 \in \Xi_{2n}} P_{n\xi_2} \cdot \prod_{\xi_\zeta \in \Xi_{\zeta n}} P_{n\xi_\zeta}, \quad (5)$$

де для  $i$ -го мінімального зрізу у  $j$ -й послідовності в  $k$ -му дереві подій для  $n$ -го фактору ризику визначені:  $P_{n\xi_1}$  – ймовірність відмови окремих базових подій (в основному визначається надійністю підсистем або елементів) із множини  $\Xi_{1n}$ , котрі в результаті оцінки відповідного дерева відмов методом мінімальних зрізів були визначені;  $P_{n\xi_2}$  – ймовірність похибок в обслуговуванні при управлінні підсистемами або елементами із множини  $\Xi_{2n}$ ,  $P_{n\xi_\zeta}$  – ймовірність інших похибок та неопрацьованих подій виявлених методом мінімальних зрізів.

Тоді прогнозуєма зміна нормованого показника безпеки за  $n$ -м фактором ризику після завершення процесу модернізації системи розраховується як

$$\Delta P_n = P_n^{(m)} - P_n^{(b)}, \quad (6)$$

де індекси (m) та (b) відповідають показникам безпеки модернізованої та базової систем.

Використовуючи (4) – (6) та враховуючи для кожного окремого фактору ризику ваговий коефіцієнт із (3) визначимо оцінку загальносистемного ризику відмови системи після модернізації таким чином:

$$P_{3C} = \sum_{n=1}^N \beta_n \Delta P_n. \quad (7)$$

## Висновки

Запропонований двохетапний метод оцінки загальносистемного ризику відмови системи після проведення її модернізації. Постановка завдання доповнена прикладом, котрий підтверджує необхідність врахування всіх значимих факторів ризику. Розрахунок оцінки використовує методику багатфакторного аналізу що дозволяє визначити значимі фактори ризику та їх вагові коефіцієнти. Безпосередня оцінка загальносистемного ризику розраховується з використанням апарату ризик-орієнтованого підходу.

**Напрямок подальших досліджень** пов'язаний з розробкою розрахункової схеми запропонованого методу.

## Список літератури

1. Адаменко М.І. Теоретичні основи збереження екологічної рівноваги [Текст] / М.І. Адаменко, Н.Г. Кучук // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: збірник наукових праць. – Львів, 2014. – № 10. – С. 158-162.
2. Адаменко М.І. Структура моніторингу екологічної безпеки регіонів України. Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур [Текст] / М.І. Адаменко, Н.Г. Кучук // Тези за матеріалами VI всеукраїнського наукового семінару 15-16 жовтня. – Харків, 2014. – С. 9-11.

3. Адаменко М.І. Модель збереження екологічної рівноваги та зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище [Текст] / М.І. Адаменко, Н.Г. Кучук // Проблеми інформатизації: Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДУТ; Полтава: ПНТУ; Катеринослав: Катеринославський економічний університет; Париж: Університет Париж VII Венсант-Сен-Дені; Орел: ОДУННВК; Харків: ХНДІТМ, 2014. – С. 79.

4. Адаменко М.І. Стратова модель процесу оперативного управління ліквідацією наслідків надзвичайної події [Текст] / М.І. Адаменко, Г.А. Кучук, Н.Г. Кучук // Одинадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 08–09 квітня 2015 року. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – С. 200.

5. Березуцький В.В. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности [Текст] Монография / В.В. Березуцкий. – Х.: ХГПУ. – 1999. – 170 с.

6. Березуцький В.В. Разработка универсального показателя опасности оборудования и производства [Текст] / В.В. Березуцкий, А.Н. Древал // Охрана труда. – 1997. – №5. – С. 34-37.

7. Березуцький В.В. Виртуальный производственный участок, интегрированный по вредным и опасным факторам [Текст] / В.В. Березуцкий, А.Б. Радван // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №5/2(53). – С. 52-57.

8. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності: Підручник [Текст] / О.І. Запорожець. – К.: ЦУЛ, 2013. – 448 с.

9. Мейсак А.В. Применение многофакторного регрессионного анализа в экономике [Текст] / А.В. Мейсак // Актуальные проблемы экономики на рубеже веков: состояние и перспективы: тезисы докладов Республиканской научно-практической студенческой конференции [Минск], 25 - 26 апреля 2000 г. / Министерство образования Республики Беларусь; Учреждение образования "Белорусский государственный экономический университет". – Минск: БГЭУ, 2000. – С. 342-344.

10. Ступаков В.С. Риск-менеджмент [Текст]: учеб. пособие / В.С. Ступаков. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.

Надійшла до редколегії 15.07.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Андронов, Національний університет Цивільного захисту України, Харків.

## ОБЩЕСИСТЕМНЫЙ РИСК ОТКАЗА СИСТЕМЫ ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ

Н.И. Адаменко, В.В. Березуцкий, Н.Г. Кучук, О.Ю. Палант

В статье рассмотрены вопросы оценки общесистемного риска отказа системы после проведения ее модернизации. Постановка задачи дополнена примером, который подтверждает необходимость учета всех значимых факторов риска. Для расчета оценки предложен двухэтапный метод, который позволяет с помощью многофакторного анализа определить значимые факторы риска и их весовые коэффициенты. Непосредственная оценка общесистемного риска рассчитывается с использованием аппарата риск-ориентированного подхода.

**Ключевые слова:** общесистемный риск, многофакторный анализ, оценка риска.

## RISK DISCLAIMER OF WIDE AFTER MODERNIZATION

M.I. Adamenko, V.V. Berezutskiy, N.G. Kucuk, O.Yu. Palant

The article deals with the assessment of system-wide risk system failure after its modernization. Problem supplemented example, which confirms the need to consider all significant factors line. To calculate the estimates proposed two-stage method, which allows using multivariate analysis to identify significant risk factors and their weights. Direct-wide risk score is calculated using a risk-based system approach.

**Keywords:** system-wide risk, multivariate analysis, risk assessment.