

Обчислення надійності системи критичної інфраструктури шляхом декомпозиції її як складної системи

Calculating the reliability of a critical infrastructure system by decomposing it as a complex system

Тимур Куртсеітов^{1 А}

*Corresponding author: д.техн.н., професор, начальник кафедри, e-mail: kurttimur@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6478-6469

Рустам Мурасов^{2 А}

кан. техн. наук, докторант, e-mail: rustamm@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0800-2062

Ярослав Мельник^{3 А}

заступник начальника центру, e-mail: jarmel@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2919-9119

^А Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна

Tymur Kurtseitov^{1 A}

*Corresponding author: Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, e-mail: kurttimur@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6478-6469

Rustam Murasov^{2 A}

candidate of technology Sciences, doctoral student, e-mail: rustamm@ukr.net ORCID: 0000-0003-0800-2062

Yaroslav Melnyk^{3 A}

deputy chief of the center, e-mail: jarmel@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2919-9119

^А National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

Received: October 1, 2022 | Revised: October 18, 2022 | Accepted: October 31, 2022

DOI: 10.33445/sds.2022.12.5.8

Мета роботи: визначення методу обчислення надійності системи критичної інфраструктури, якій забезпечує повноту та реалістичність обстановки, що склалася в умовах збройної агресії.

Дизайн/Метод: основними методами досліджень є методи статистичного аналізу, декомпозиції, метод резервування та методи прогнозування.

Результати дослідження: методика обчислення надійності системи критичної інфраструктури

Теоретична цінність дослідження: основними результатами досліджень за тематикою статті є методика обчислення надійності системи критичної інфраструктури.

Тип статті: описовий та розрахунково-аналітичний.

Ключові слова: система, декомпозиція, надійність, імовірнісна модель.

Purpose: determination of the method of calculation of the system of critical infrastructure, which ensures the completeness and realism of the situation that developed in the conditions of armed

Design/Method/Approach: the main research methods are methods of statistical analysis, decomposition, reservation method and forecasting methods.

Findings: method of calculating the reliability of the critical infrastructure system

Theoretical implications: the main results of research on the topic of the article are the methods of calculating the reliability of the critical infrastructure system.

Paper type: descriptive and calculation-analytical.

Key words: system, decomposition, reliability, probabilistic model.

1. Вступ

Збройна агресія Російської Федерації проти України стала складним викликом щодо існування та функціонування системи критичної інфраструктури. Не в змозі нанести суттєве ураження військовим підрозділам ворог зосередив свої ракетні удари на об'єктах критичної інфраструктури з метою примушення до капітуляції або принизливих перемовин. Внаслідок ураження об'єктів критичної інфраструктури ворог намагається створити гуманітарну катастрофу державного масштабу [1, 2]. Для забезпечення безперебійного функціонування критичної інфраструктури постає наукове завдання щодо обчислення надійності системи критичної інфраструктури, яке дасть змогу визначити напрямки зосередження основних зусиль і ресурсів для її захисту та забезпечення безперебійного функціонування.

2. Теоретичні основи дослідження

Завдяки високим темпам техногенного зростання наш світ стає більш глобалізованим та відповідно вразливим від будь-яких деструктивних факторів. Катастрофи у будь-якій галузі породжують відповідні катастрофічні наслідки у інших галузях.

Багато сучасних наукових досліджень присвячено саме цим науковим проблемам і задачам, з метою мінімізації або зведенні унівець катастроф та їх наслідків. Основними науковими роботами, які розв'язують дані наукові проблеми в системі критичної інфраструктури є роботи: Лисиченка Г.В., Чумаченка С.М., Мірненко В.І.

Відповідно є Закон України "Про критичну інфраструктуру" в якому визначаються основні поняття, відповідні об'єкти і суб'єкти, та визначаються напрями основних заходів з захисту критичної інфраструктури. Все це вказує на серйозність та важливість системи критичної інфраструктури в системі безпеки держави.

Існуючі сучасні наукові методики, щодо визначення загроз та ризиків для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури лише частково здатні забезпечити потреби держави у визначених питаннях. В цілому вони є лише вузькоспеціалізованими інструментами під конкретні катастрофічні ситуації. І коли виникає необхідність розгляду глобальної катастрофічної ситуації всі ці методики лише будуть її частковими випадками в окремих сферах. Автори статті надають рекомендації щодо здійснення всеохоплюючого підходу до оцінювання надійності системи критичної інфраструктури, включаючи до неї всі потенційно-небезпечні об'єкти різних сфер і відомств.

3. Постановка проблеми

Військова агресія Російської Федерації проти України переходить на інший рівень збройної боротьби. Неспроможність ЗС РФ до захоплення території України, військово-політичне керівництво Росії намагається компенсувати терористичними ракетними ударами по потенційно-небезпечних об'єктах критичної інфраструктури України. Противник розраховує, що виведення з ладу зазначених об'єктів зможе викликати деструктивно-кумулятивний ефект початку ланцюга зв'язаних катастрофічних подій в системі критичної інфраструктури. Останні ракетні удари це демонструють: це удари по електростанціям, дамбам та гідротехнічних спорудах.

Таким чином виникає наукова проблема обчислення надійності системи критичної інфраструктури, що допоможе приймати вірні управлінські рішення, здійснювати пріоретизацію щодо захисту об'єктів критичної інфраструктури та визначати напрями зосередження зусиль.

4. Результати

Система критичної інфраструктури є складовою частиною сучасного техногенного суспільства. Відповідно до Закону України "Про критичну інфраструктуру" – об'єкти критичної інфраструктури – об'єкти інфраструктури, системи, їх частини та їх сукупність, які є важливими для економіки, національної безпеки та оборони, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво-важливим національним інтересам.

Від функціонування критичної інфраструктури залежить існування того образу життя людства, яке ми сприймаємо як звичайне, щоденне існування. Тому визначення надійності подібних систем є вкрай важливою науковою задачею з метою попередження нештатних, деструктивних ситуацій.

В даній статті будуть розглянути наукові питання щодо обчислення надійності складних систем. Система критичної інфраструктури являє собою класичний варіант складної системи: вона має підсистеми, прямі і зворотні зв'язки, емерджентність, елементи.

Перелік секторів критичної інфраструктури та суб'єктів, відповідальних за формування та реалізацію державної політики у відповідних секторах національної системи захисту критичної інфраструктури (далі – Перелік), визначається Кабінетом Міністрів України.



Рисунок 1 – Схема складових галузей (систем) критичної інфраструктури та їх взаємозв'язок

До життєво-важливих функцій та/або послуг, порушення яких призводить до негативних наслідків для національної безпеки України, належать, зокрема:

- 1) урядування та надання найважливіших публічних (адміністративних) послуг;
- 2) енергозабезпечення (у тому числі постачання теплової енергії);
- 3) водопостачання та водовідведення;
- 4) продовольче забезпечення;
- 5) охорона здоров'я;
- 6) фармацевтична промисловість;
- 7) виготовлення вакцин, стале функціонування біологічних лабораторій;
- 8) інформаційні послуги;
- 9) електронні комунікації;
- 10) фінансові послуги;
- 11) транспортне забезпечення;
- 12) оборона, державна безпека;
- 13) правопорядок, здійснення правосуддя, тримання під вартою;
- 14) цивільний захист населення та територій, служби порятунку;
- 15) космічна діяльність, космічні технології та послуги;
- 16) хімічна промисловість;
- 17) дослідницька діяльність.

Категоризація об'єктів критичної інфраструктури

1. Для визначення рівня вимог щодо забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури відповідно до рівня їх важливості для забезпечення окремих життєво-важливих функцій у межах секторів критичної інфраструктури здійснюється категоризація об'єктів критичної інфраструктури відповідно до категорій критичності, визначених Законом.

2. Установлюються такі категорії критичності об'єктів критичної інфраструктури:

1) I категорія критичності – особливо важливі об'єкти, які мають загальнодержавне значення, значний вплив на інші об'єкти критичної інфраструктури та порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації державного значення;

2) II категорія критичності – життєво важливі об'єкти, порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації регіонального значення;

3) III категорія критичності – важливі об'єкти, порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації місцевого значення;

4) IV категорія критичності – необхідні об'єкти, порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації локального значення.

В класичній науковій літературі розглянуто багато способів обчислення надійності складних систем. Однак оскільки ми обмежуємо наш вибір системами подібними до існуючих систем критичної інфраструктури тому розглянемо оптимальні за змістом.

Один зі способів підвищення безпеки систем є метод резервування, що полягає у введенні в систему додаткових елементів або підсистем понад кількість, мінімально необхідну для виконання заданих функцій. Сучасні системи характеризуються складністю своєї структурної і функціональної організації, що дає змогу, з одного боку, виконувати цілий комплекс різних взаємозалежних функцій, а з іншого — стало працювати з припустимим рівнем надійності при відмові окремих підсистем (елементів) і навіть групи підсистем. Для сучасних складних систем не існує загальноприйнятого поняття відмови, тому що внутрішні зміни в структурі системи через відмови окремих елементів як правило призводять лише до деякого погіршення її надійності, а не до повної відмови. Це пояснюють тим, що в складних системах із надлишковою структурою передбачене повне або часткове резервування окремих функцій, а також різних зворотних зв'язків, засобів коригування помилок і т. д.

У теорії надійності розрізняють [4] *послідовні та паралельні системи з'єднання*. Послідовною називають таку систему, яка відмовляє в разі відмови хоча б однієї з її підсистем, і відмови підсистем незалежні. Надійність послідовної системи за незалежних відмов підсистем виражає залежність

$$P(v) = p_1(v_1)p_2(v_2)\dots p_n(v_n) = \prod_{j=1}^n p_j(v_j) \quad (1)$$

де $p_j(v_j), j \in J$ — задані надійності підсистем.

Це співвідношення відбиває відоме положення про те, що коли елементи взаємодіють за схемою послідовного з'єднання, тоді показники безпечної роботи системи нижчі за відповідні показники кожного з її елементів. При цьому зі збільшенням числа елементів показники надійності системи швидко зменшуються. Якщо число підсистем велике, тоді за послідовного з'єднання практично неможливо створити систему, що має високу безпеку.

Система з паралельним з'єднанням підсистем працездатна тоді і тільки тоді, коли працездатна хоча б одна її підсистема. Надійність системи з паралельним з'єднанням підсистем за припущення, що відмови підсистем незалежні, обчислюють за формулою

$$P(v) = 1 - \prod_{j=1} (1 - p_j(v_j)) \quad (2)$$

Отже, безпека системи з паралельним з'єднанням підсистем за припущення, що відмови підсистем незалежні, зростає зі збільшенням кратності резервування.

На практиці широко застосовують системи, які можна подати у вигляді комбінації послідовного і паралельного з'єднання (послідовно-паралельні та паралельно-послідовні з'єднання). Формули для обчислення надійності таких систем (підсистем) складають на основі

розрахункових формул для паралельного і послідовного з'єднань, вони залежать від конфігурації системи у кожному конкретному випадку.

Як уже зазначалось, кожна підсистема складної системи в будь-який момент часу її функціонування знаходиться у визначеному стані. Цей стан характеризується значеннями параметрів підсистем.

На практиці доводиться застосовувати грубу модель підсистеми і розглядати два її стани — працездатність і відмову. При цьому система, що складається з таких підсистем, залежно від прийнятих припущень може знаходитись тільки у двох станах — працездатності і відмови [3] або мати деякі проміжні стани, в яких система лише погіршує надійність свого функціонування, наприклад системи з довільною структурою.

Для різних станів значення надійності можуть бути різними. Якщо ввести деяке граничне значення надійності для системи, то станами працездатності можна вважати стани, для яких значення надійності не менші за задане граничне значення, а стани відмов — у протилежному випадку. У більш загальному випадку j -та підсистема системи, що складається з n підсистем, може перебувати в m_j різних станах, які не вдається звести до двох станів — працездатності і відмови [4, 5]. Тоді система загалом характеризуватиметься траєкторією в складнішому фазовому просторі з числом станів

$$M = \prod_{j=1}^n M_j \quad (3)$$

Як уже зазначалося, надійність системи визначається надійністю її підсистем (елементів, які входять у підсистеми) та їхнім взаємозв'язком — структурою. Розглянемо загальну формулу для розрахунку надійності системи, яку за відповідних припущень щодо структури системи можна застосовувати для обчислення надійності систем з довільною структурою.

Нехай складна система складається з n підсистем $j, j \in J = \{1, 2, \dots, n\}$. Підсистеми, що входять до складу структури системи, можуть знаходитись тільки в одному з двох станів: працездатності чи відмови, ігри цьому відмови підсистем трапляються незалежно одна від одної. Нехай $s_j, j \in J$ – змінна, індикатор стану j -ї підсистеми:

$$s_j = \begin{cases} 1, \text{ якщо підсистема } j \text{ працездатна;} \\ 0, \text{ якщо підсистема } j \text{ непрацездатна;} \end{cases} \quad (4)$$

де $s = (s_1, \dots, s_j, \dots, s_n)$ – n -мірний вектор, що характеризує стан системи, обумовлений станом її підсистем.

Тоді система, що складається з n підсистем, кожна з яких має два стани, може знаходитись в одному з 2^n різних станів. Уведемо позначення станів системи $(s, o_{j_1}, o_{j_2}, \dots, o_{j_l}) = (s_1, \dots, s_{j_l-1}, 0, s_{j_l+1}, \dots, s_{j_2-1}, 0, s_{j_2+1}, \dots, s_{j_i-1}, 0, s_{j_l+1}, \dots, s_n)$, коли l підсистеми — j_1, j_2, \dots, j_l - працездатні. Позначимо через

$$G = \{(j_1, \dots, j_l) | 1 \leq j_1 \leq \dots \leq j_l \leq n, l \in J\} \cup \{0\} \quad (5)$$

множину можливих наборів індексів підсистем. Якщо всі підсистеми працездатні, множина $G = \{0\}$.

Нехай $H_{j_1, \dots, j_l}(j_1, \dots, j_l) \in G$ — ймовірність того, що система знаходиться у стані $(s, o_{j_1}, \dots, o_{j_l}), (j_1, j_2, \dots, j_l) \in G$; H_0 – ймовірність того, що система знаходиться у стані $(1, 1, \dots, 1)$, коли всі підсистеми працездатні. Сума ймовірностей усіх можливих станів системи утворює повну групу подій, тому справедлива рівність

$$H_0 + \sum_{j \in G} H_j + \sum_{(j_1 \dots j_2) \in G} H_{j_1 j_2} + \dots + \sum_{(j_1 \dots j_l) \in G} H_{j_1 j_l} + \dots + \sum_{(j_1 \dots j_{n-1}) \in G} H_{j_1 j_{n-1}} + H_{1,2 \dots n} = 1 \quad (6)$$

Позначимо через $\Phi_{j_1 \dots j_l}$ — показник умовної ймовірності працездатності (умовної ймовірності функціонування) системи у стані $(s, o_{j_1}, \dots, o_{j_l}), (j_1, j_2, \dots, j_l) \in G$.

Тоді *надійність системи* можна визначити за формулою

$$P = \sum_{(j_1 \dots j_l) \in G} \Phi_{j_1 \dots j_l} H_{j_1 \dots j_l} \quad (7)$$

це додавання виконують по всій множині O . З огляду на припущення про взаємну незалежність відмов підсистем, ймовірності $H_{j_1, \dots, j_l} (j_1, j_2, \dots, j_l) \in G$ станів обчислюють через ймовірності станів працездатності (надійності) $p_j, j \in J$ підсистем за виразом

$$H_{j_1 \dots j_l} = \prod_{j=J} p_j \prod_{r=\{j_1 \dots j_l\}} (1 - p_r) \quad (8)$$

Зокрема,

$$H_0 = \prod_{j \in J} p_j \text{ і } H_{1,2, \dots, n} = \prod_{j \in J} (1 - p_j) \quad (9)$$

Отже, надійність системи, що складається з n незалежних підсистем, визначають за формулою (7), де ймовірності станів знаходять за (8). При цьому жодних обмежень на структуру системи не накладається.

Часом виявляється, що, незважаючи на велике число станів системи, усі вони можуть бути розбиті на мале число класів, кожен з яких характеризується одним і тим самим коефіцієнтом умовної ймовірності стану. У цьому разі надійність системи обчислюють за формулою:

$$P = \sum_{k=1}^{k_0} \Phi_{G_k} \sum_{(j_1 \dots j_k) \in G_k} H_j \quad (10)$$

де Φ_{G_k} — значення коефіцієнта умовної ймовірності стану.

k_0 — число таких класів.

G_k — множина тих станів, для яких коефіцієнт умовної ймовірності дорівнює Φ_{G_k} . Якщо коефіцієнт $\Phi_0 = 1$, а решта $\Phi_j, \Phi_{j_1 j_2}, \dots, \Phi_{1,2, \dots, n} = 0$, то за формулою (7) можна визначити надійність послідовної системи.

У загальних рисах порядок розрахунку надійності складної системи полягає у виконанні таких дій:

- складну систему розбивають на окремі підсистеми;
- визначають показники умовної ймовірності Φ_{j_1, \dots, j_l} функціонування системи в різних станах;
- встановлюють спосіб побудови варіантів підсистем із елементів без резервування або з резервуванням (однотипним, різнотипним) і задають схему з'єднання елементів (паралельна, послідовно-паралельна, складної структури);
- обчислюють показники надійності підсистем через показники надійності елементів;
- обчислюють ймовірності всіх можливих станів системи на підставі ймовірностей станів окремих підсистем (за умови незалежності їхніх відмов);
- визначають показники надійності всіх можливих станів системи.

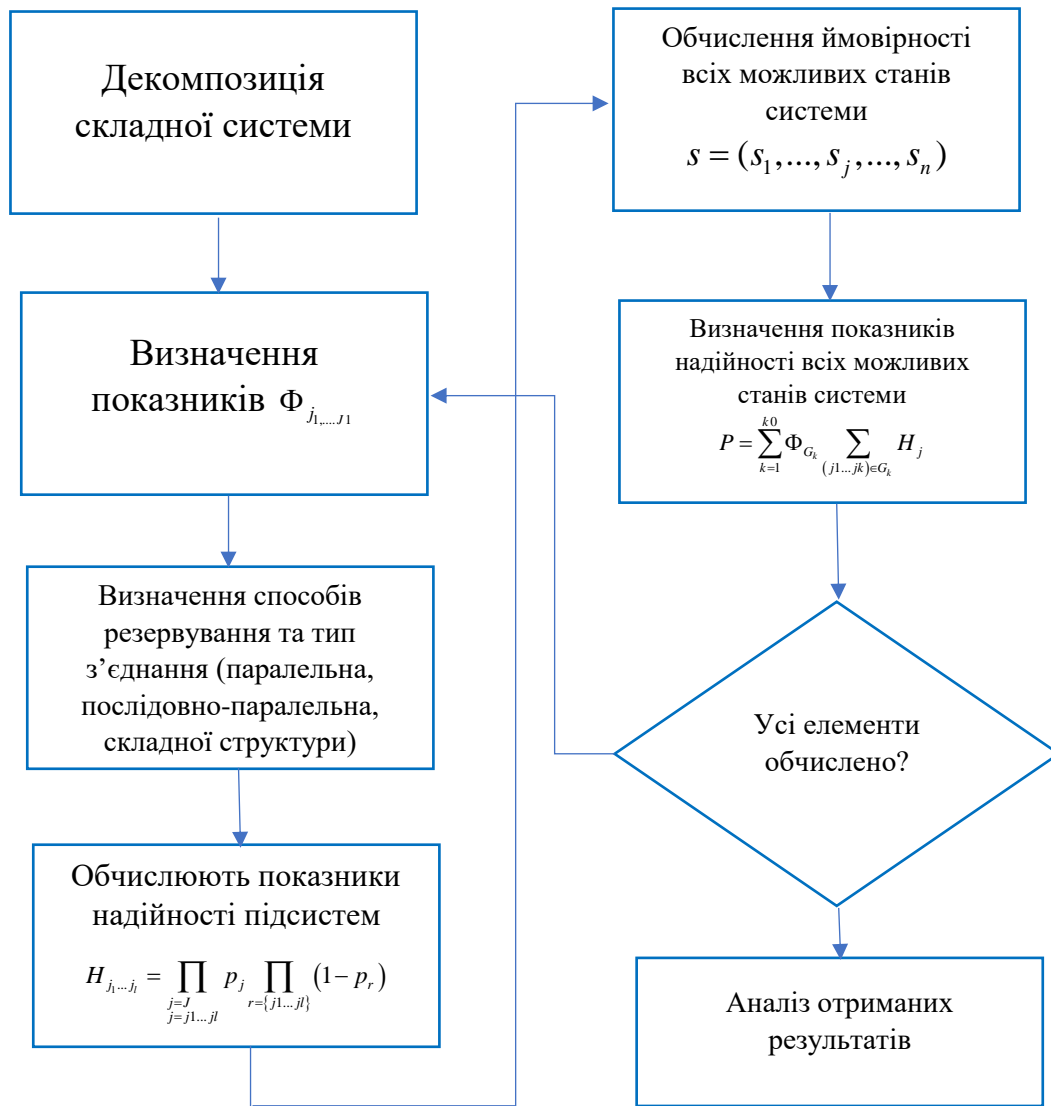


Рисунок 2 – Схема розрахунку надійності складної системи

На практиці цікавими є високонадійні системи, тобто системи, надійність яких близька до одиниці, й, отже, величина $\varepsilon = 1 - P$ мала, де P — надійність системи. Для таких систем можна припустити, величини надійності $p_j, j \in J = \{1, \dots, n\}$ підсистем близькі одна до одної, і величина $q_j = 1 - p_j, j \in J$ задовольняє умову $\max q_i \ll 1/n$ або $q_i \approx \varepsilon/n$. Для високонадійних систем формулу (7) можна подати у вигляді розкладу за степенями $q_j, j \in J$:

$$\begin{aligned}
 P = & \Phi_0 \left(1 - \sum_{j \in J} q_j (1 - \Phi_j^*) + \sum_{(j_1 j_2)} q_{j_1} q_{j_2} (1 - (\Phi_{j_1}^* + \Phi_{j_2}^*) + \Phi_{j_1 j_2}^*) - \right. \\
 & \dots \sum_{(j_1 \dots j_l) \in G} q_{j_1} q_{j_2} \dots q_{j_l} \left(1 - \sum_{j \in \{j_1 \dots j_l\}} \Phi_j^* + \sum_{\substack{l_1 \leq l_2 \\ j_1 j_2 \in \{j_1 \dots j_l\}}} \Phi_{j_1 j_2}^* - \dots (-1)^l \Phi_{j_1 \dots j_l}^* \right) \dots (-1)^n \prod_{j \in J} q_j (1 - \\
 & \left. \sum_{j \in J} \Phi_j^* + \sum_{j_1 \leq j_2} \Phi_{j_1 j_2}^* - \dots (-1)^n \Phi_{12 \dots n}^* \right)
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

де Φ_0 — коефіцієнт умовної ймовірності стану, що характеризується працездатністю всіх елементів системи: $\Phi_j^* = \Phi_j / \Phi_0$, $\Phi_{j_1 j_2}^* = \Phi_{j_1 j_2}^* / \Phi_0^*$, ..., $\Phi_{j_1, \dots, j_l}^* = \Phi_{j_1, \dots, j_l} / \Phi_0$ і т. д.

У разі дослідження надійності систем найважливішим моментом є встановлення необхідної відповідності між реальним об'єктом та його моделлю (адекватність моделі), коли всі складові, які стосуються безпечної поведінки об'єкта (системи), мають бути відображені в моделі.

Фактично надійність будь-якого об'єкта можна імовірно визначити тільки після завершення його експлуатації та досягнення ним граничного стану, тобто стану, за якого подальша експлуатація об'єкта або неприпустима з міркувань безпеки чи економіки або відновлення його працездатності технічно неможливе чи економічно недоцільне. Для такого об'єкта ми матимемо конкретні реалізації (відомі після експлуатації значення) усіх зазначених випадкових величин, які характеризують його надійність. За ними можна однозначно встановити, наприклад, середнє напрацювання на відмову відновлюваного об'єкта, його ресурс і строк служби, середній час відновлення після відмов і т. д. Однак це будуть фактичні показники надійності конкретного об'єкта.

Вочевидь, що якби ми мали інформацію щодо експлуатації об'єкта до граничного стану іншого зразка об'єкта, який розглядається (повністю аналогічного за конструкцією, технологією виготовлення, умовами експлуатації і т. д.), то ми б отримали відмінні від попередніх реалізацій згаданих випадкових величин через випадкові чинники: випадкові відхилення в межах допусків параметрів складових елементів, властивостей матеріалів, технології виготовлення і т. д. Інакше кажучи, показники надійності іншого зразка були б дещо відмінними від перших.

Для партії однорідних об'єктів, що закінчили експлуатацію, ми матимемо по кожній зі згаданих випадкових величин цілу статистичну сукупність її можливих значень (реалізацій), або за термінологією математичної статистики — емпіричну статистичну вибірку значень випадкової величини. За цією вибіркою можна побудувати закон розподілу випадкової величини, який характеризує надійність об'єкта. Знаючи такі закони, можна обчислювати всі необхідні показники надійності об'єкта.

5. Висновки

Отже, звідси випливає такий висновок. Коли йдеться про показники надійності об'єкта, ми, як правило, розуміємо, що це показники деякої однорідної статистичної сукупності об'єктів (партії однорідних об'єктів) і фактичні індивідуальні показники окремого об'єкта цієї партії відрізнятимуться від середніх для партії. Степінь цієї відмінності визначається тими ж законами (або їх числовими характеристиками) розподілу згаданих випадкових величин, які характеризують надійність об'єкта. У цьому сенсі показник надійності об'єкта до і в процесі його експлуатації слід розуміти статистично, що це показник партії однорідних об'єктів. Якщо, наприклад, ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом часу t оцінена значенням 0,9, це означає, що з 10 таких об'єктів у середньому 9 відпрацюють час t безвідмовно і лише 1 відмовить до моменту t , а який саме — наперед невідомо.

Таким чином було визначено порядок обчислення надійності системи критичної інфраструктури. При здійсненні аналізу критичної інфраструктури необхідно здійснити сортування об'єктів за типами і функціями та в подальшому застосовуючи наведений порядок обчислити їх надійність.

6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Мурасов Р.К., Чумаченко С.М., Мельник Я.В. Теоретико-методологічні основи інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах збройного конфлікту на сході України, НУОУ, м. Київ, науковий журнал "Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони", № 1(40), 2021 р., С. 117–122.
2. Мурасов Р.К., Чумаченко С.М. Методика оцінювання загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні проведення ООС, Труді університету, №1(170). 2022, С. 228–243.
3. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 р. № 1882-IX.
4. Теорія технічних систем / В.С. Ловеїкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП "КОМПРИНТ", 2017. – 291 с.

References

1. Murasov R. K., Chumachenko S. M., Melnyk Y. V. (2021). Theoretical and methodological bases of information analysis of ecological and man-made threats to potentially dangerous objects of critical infrastructure in the conditions of armed conflict in the east of Ukraine, *Modern information technologies in the sphere of security and defense*, No. 1(40), Pp. 117–122.
2. Murasov R. K., Chumachenko S. M. (2022). Methodology of threat assessment for potentially dangerous critical infrastructure objects in the zone of environmental protection, *University Proceedings*, No. 1(170), pp. 228–243.
3. On Critical Infrastructure: Law of Ukraine dated November 16, 2021 No. 1882-IX.
4. Theory of technical systems / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich. Kyiv: CPU "COMPRINT", 2017. 291 p.