

Інформаційна здатність людини-оператора щодо забезпечення безпеки

Operator Safety Information Capability

Олег Богатов^A

Corresponding author: кандидат технічних наук, доцент, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7342-7556

Микола Павлунко^B

кандидат військових наук, e-mail: n.pavlunko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8255-6245

Олег Посмітюх^C

кандидат військових наук, доцент, e-mail: olegposmit777@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4467-9532

Наталія Антакова^C

e-mail: nv.antakova@gmail.com, ORCID 0009-0008-3765-1604

Oleg Bogatov^A

Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net, ORCID: 0000-0001-73427556

Mykola Pavlunko^B

Candidate of Military Sciences, e-mail: n.pavlunko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8255-6245

Oleg Posmityukh^C

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, e-mail: olegposmit777@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4467-9532

Natalia Antakova^C

e-mail: nv.antakova@gmail.com, ORCID 0009-0008-3765-1604

^A Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

^B Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

^C Національний університет оборони України, Київ, Україна

^A Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, Ukraine

^B National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” named after Ihor Sikorskyi, Kyiv, Ukraine

^C National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: June 14, 2025 | Revised: June 22, 2025 | Accepted: June 30, 2025

DOI: 10.33445/sds.2025.15.3.14

Мета роботи: Розробка методу визначення стратегії прийняття рішення при різних критеріях оптимальності на основі інформації стану об'єкту.

Метод дослідження: Методичним інструментарієм проведеного дослідження стали методи аналізу і синтезу, методи статистики, теорема відліків.

Результати дослідження: удосконалена методика яка дозволяє зменшити кількість помилок при прийнятті рішення за рахунок підбору сигналів про стан об'єкта, які відрізняються один від одного настільки, що при впливі перешкод не відбувається їх переплутування при зіставленні об'єктивних зовнішніх сигналів з їхньою суб'єктивною смисловою оцінкою оператором.

Теоретична цінність дослідження: полягає в можливості оптимізації діяльності людини, метою якої є безпека та ефективність управління складними системами за допомогою удосконаленої методики.

Цінність дослідження: результати можуть бути використані як теоретична основа для складання навчальних програм та тренування персоналу, який діє в умовах, коли існує велика ймовірність виникнення критичної ситуації, що веде до катастрофи (аварії) та мета навчання полягає в тому, щоб навчити діям на рівні стереотипів.

Обмеження дослідження: обмеження дослідження полягає у використанні інформації, що перебуває у вільному.

Тип статті: теоретична.

Purpose: exploration of the method of determining the strategy for making a decision under various optimality criteria based on information from the object.

Method: Methods of analysis and synthesis, statistical methods, and the counting theorem became the methodological toolkit of the conducted research.

Findings: an improved technique that allows you to reduce the number of errors when making a decision due to the selection of signals about the state of the object, which differ from each other to the extent that, under the influence of obstacles, their confusion does not occur when comparing objective external signals with their subjective semantic evaluation by the operator.

Theoretical implications: consists in the possibility of optimizing human activity, the goal of which is the safety and efficiency of managing complex systems using improved methods.

Value: the results can be used as a theoretical basis for the preparation of training programs and training of staff, which is in place when there is a high probability of a critical situation leading to a catastrophe (accident) and the purpose of training is to teach actions at the level of stereotypes.

Limitations of the study: the limitation of the study is the use of freely available information.

Papertype: theoretical.

Ключові слова: аварія, безпека, стратегія прийняття рішень, людський фактор, здатність до інформації, ефективність.

Key words: accident, security, decision-making strategy, human factor, information ability, effectiveness.

Вступ

Людський фактор, як причина ризику, пов'язаного з помилками людини, охоплює всі аспекти її діяльності. Людина є найбільш гнучким, здатним до адаптації та важливим елементом ергатичних систем, але водночас і найбільш вразливим з точки зору можливості негативного впливу на їхню діяльність. Помилки керівника (виконавця) в системі “Людина-техніка-середовище” (далі – ЛТС) можуть виникати через неправильний професійний відбір, невідповідну складність технологічних процедур та недостатню професійну підготовку, психофізіологічний стан людини, тощо. Недосконалість технологій, машин, механізмів, інструкцій, настанов – це опосередковані фактори, які можуть призвести до втрат та аварій.

Людський фактор – це комплекс знань про людей у навколишньому середовищі, в якому вони живуть і працюють. Вивчення людського фактора передбачає прогнозування ймовірності помилок людини та їх меж для практичного застосування людських можливостей у розробці проектів машин та механізмів, оптимізації діяльності людини, метою якої є безпека та ефективність в управлінні складними системами.

Помилки людини пов'язані з небажаною дією чи бездіяльністю, що виникає з ряду причин: не той порядок дій, несвоєчасні дії, незнання того, що потрібно зробити, або через погане обладнання чи недосконалі процедури. Як показує практика, до 80-90% аварій і катастроф пов'язані з людським фактором [2].

Існують внутрішні та зовнішні фактори, які сприяють або перешкоджають процесу прийняття обстановки, що склалася в навколишньому середовищі. Внутрішні фактори, що визначають процес прийняття рішення, і, отже, дії керівника (виконавця) включають: психічні здібності, здатність зберігати в пам'яті інформацію, знання та навички, особливості реакції. Ці фактори є індивідуальними. Вплив стресу найчастіше також пояснюється внутрішніми факторами. Зовнішні фактори включають характер та тип обладнання, умови навколишнього середовища, складність завдання.

Помилки не завжди залежать від людини, а часто виникають через неправильні показники, відсутність контролю, неефективне управління. Ефективність управління та кількість помилок керівника (виконавця) залежить від системи надання інформації особі та можливостей управління [4].

Для управління системою потрібна інформація, яка дозволяє:

- швидко оцінити загальний стан системи, в якому вона знаходиться, тобто в стані звичайної роботи, в умовах очікуваної оперативної події або в аварійному стані, та переконатись, що виконуються запроєктовані автоматичні дії для забезпечення безпеки;
- визначити відповідні дії, які необхідно виконати керівнику (виконавцю).

Щоб виконувати управління системою, людині потрібна інформація про параметри експлуатації окремих об'єктів та обладнання.

Сигнали про аварійний стан системи можна отримати від так званих провісників аварії. Це можуть бути процеси та явища, пов'язані з причинами різкої зміни стану системи, або тими, що виникають у процесі розвитку критичного стану. Наприклад, зростання внутрішньої механічної напруги в конструкції, підвищення тиску, температури, тертя в системі, поява іскри в електричному обладнанні, збільшення витоку газу або електроенергії – ці та подібні явища можуть бути провісниками аварій. Сигнали про них, правильне та своєчасне сприйняття, забезпечують можливість запобігання аварії.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичними основами дослідження стали положення постанови КМУ від 1 квітня 2025 р. № 367 “Про затвердження вимог щодо управління ризиками безпеки на об'єктах критичної інфраструктури і категорії критичності” [1], в якій визначено вимоги до управління ризиками безпеки на об'єктах критичної інфраструктури 1 категорії критичності, що здійснюється оператором критичної інфраструктури.

В Україні питання щодо оцінювання ризиків в системі безпеки потенційно небезпечних об'єктів розглядали у своїх роботах Г. Грабовський, К. Данова та інші [2, 4-6]. В роботах розглядаються методики оцінювання процесів забезпечення ефективності роботи та працездатності системи ЛТС, оцінка надійності керівника (виконавця) при виконанні технологічного процесу, вплив людського чинника на ефективність процесу та його безпеку. Водночас, зважаючи на наукові праці та рекомендації вітчизняних учених, доцільно продовжити дослідження з цієї проблематики, адже деякі проблеми в цій сфері залишаються невирішеними.

Постановка проблеми

З розвитком і ускладненням техніки зростає значення людського фактору. Необхідність вивчення цього фактору й урахування його при організації процесу діяльності і експлуатації техніки та визначення методів прийняття рішення при різних критеріях оптимальності на основі інформації стану об'єкту є необхідною умовою зменшення ризиків, пов'язаних з помилками людини.

Методологія

Ризик аварій об'єкта визначається за інформацією про параметри окремих компонентів системи та обладнання (далі – сигнали). Сигнали формуються в результаті будь-яких матеріальних процесів. Сигнал – це реалізація випадкового процесу, який має розподіл, що належить до одного з класів, які не перетинаються. На основі сигналів приймається рішення, яке є результатом процедури. При прийнятті рішення, досягається мінімум середнього ризику (критерій Байєса). Мінімізація зводиться до використання правила максимуму правдоподібності, тобто до заміни прийнятої реалізації у вираженні функції правдоподібності, відомого внаслідок детермінізму сигналів та статистичної визначеності перешкод і підбору сигналу, який максимізує функції правдоподібності. Методичним інструментарієм проведеного дослідження стали методи аналізу і синтезу, методи статистики, теорема відліків.

Результати

Виявлення та реєстрація сигналів завжди відбувається на тлі перешкод (шумів). Перешкоди можуть генеруватися як сторонніми джерелами, так і самим досліджуваним об'єктом. Оскільки сигнали формуються в результаті будь-яких матеріальних процесів, та й самі сигнали являють собою процеси, що супроводжуються перенесенням матеріальних потоків речовини або енергії, то завжди будуть присутні і перешкоди. Навіть якщо об'єкт максимально ізольований від зовнішнього світу, все одно, якщо від об'єкта йдуть сигнали, то будуть і перешкоди [3]. Тому що якщо є процеси, то існують і флуктуації цих процесів, які не можна повністю усунути. Ці флуктуації і стають основними джерелами завад, коли всі інші завади за можливістю усунути або пригнічені. Що раніше на стадіях розвитку аварійного процесу необхідно отримати сигнал від провісника, тим слабкішим буде цей сигнал і тим сильнішим вплив перешкод. Тому правильніше говорити про великий або малий рівень потоку перешкод.

Нехай є якийсь об'єкт, для якого є сенс говорити про ризик аварії.

Спостережуваний сигнал $y(t)$ є реалізацією випадкового процесу, що має розподіл W_y , який належить одному з M класів, що не перетинаються W_i ($W_i \cap W_k = \emptyset$, $i \neq k$, $i, k = 0, 1, \dots, M - 1$). На основі спостереження реалізації $y(t)$ необхідно вирішити, якому з класів належить W_y .

При цьому аналізована реалізація $y(t)$ є результатом взаємодії присутнього в ньому сигналу $s_i(t)$ з випадковим заважаючим процесом (перешкодою) $x(t)$: $y(t) = F[s_i(t), x(t)]$. Від того, який із M можливих сигналів присутній в $y(t)$, залежить щільність імовірності ансамблю, якому належить $y(t)$, тож кожному $s_i(t)$ відповідає деякий клас W_i розподілів ансамблю, що представляє $y(t)$. Таким чином, гіпотези H_i трактуються як припущення про наявність i -го (і тільки i -го) сигналу в $y(t)$: $H_i: y(t) = F[s_i(t), x(t)]$.

При цьому рішення \hat{H}_i , яке слугує підсумком процедури, є твердження про те, що в ухваленій реалізації міститься саме i -й сигнал.

У випадку M детермінованих сигналів $s_0(t), s_1(t), \dots, s_{M-1}(t)$ на тлі перешкод із повністю заданим статистичним описом щільність імовірності спостережуваної реалізації $y(t)$ за умови, що в $y(t)$ входить сигнал із номером i , – деяка цілком визначена функція, вид якої

залежить тільки від номера i .

Якщо, ще не маючи в розпорядженні реалізації $y(t)$, є відомості про те, наскільки часто можна очікувати появи $s_i(t)$ в $y(t)$, тобто відома апіорна ймовірність p_i присутствія в $y(t)$ сигналу $s_i(t)$, то ймовірність p_i можна назвати апіорною ймовірністю істинності H_i , записав $p_i = P(H_i)$. Ясно також, що p_i підлягає умові нормування $\sum_{i=0}^{M-1} p_i = 1$, оскільки події H_0, H_1, \dots, H_{M-1} становлять повну групу подій.

Припустимо, що $p_{ik} = P(\hat{H}_k/H_i)$ - умовна ймовірність переплутування i -го сигналу з k -м, тобто ухвалення рішення \hat{H}_k (про присутність $s_k(t)$ в $y(t)$) за умови, що істинною є гіпотеза H_i (в $y(t)$ міститься $s_i(t)$). Отже, множина ймовірностей p_{ik} при $i \neq k$ становить набір умовних ймовірностей усіх помилкових рішень. Ці ймовірності для будь-якого фіксованого способу ухвалення рішень можуть бути обчислені за умови повного статистичного завдання перешкод [3].

Введемо M^2 невід'ємних величин R_{ik} , кожна з яких характеризує ризик (втрати, збитки) від переплутування i -го сигналу k -м. При цьому вважається, що правильні рішення не завдають шкоди, тож $R_{ii} = 0$. У кожній окремій спробі рішення (підсумок) виявляється випадковою подією, а тому випадковим буде і значення ризику. Очевидно, безумовну ймовірність того, що ризик виявиться рівним R_{ik} , за теоремою множення ймовірностей можна знайти як $P(H_i)P(\hat{H}_k/H_i) = p_i p_{ik}$, тому математичне очікування ризику або середній ризик

$$\bar{R} = \sum_{i,k} R_{ik} p_i p_{ik}. \quad (1)$$

Природно під час ухвалення рішень домагатися мінімуму середнього ризику, оскільки в цьому разі сума штрафів за помилки виявиться найменшою (критерій Байєса або мінімуму середнього ризику).

Однак у більшості випадків немає об'єктивних даних для призначення всіх ризиків. Тоді природним є бажання приймати помилкові рішення якомога рідше, тобто щоб повна ймовірність помилки була мінімальною.

$$P_{\text{ош}} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^{M-1} p_i p_{ik} \quad (2)$$

Цей критерій, який називається критерій ідеального спостерігача або критерій Котельникова, можна розглядати як окремий випадок баєсівського, прийнявши в (1) $R_{ik} = R$, $i \neq k$, де R – довільна невід'ємна константа. При цьому $\bar{R} = R P_{\text{ош}}$ і мінімізація середнього ризику дорівнює мінімізації (2).

Іноді ускладнення викликає завдання не тільки ризиків, а й апіорних ймовірностей. Тоді визначити повну ймовірність помилки не можна, але можна припустити цілком задовільний критерій якості – критерій мінімуму суми умовних ймовірностей помилок

$$P_{\text{ош усл}} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^{M-1} p_{ik}. \quad (3)$$

Легко переконатися, що це окремий випадок байєсівського критерію, в якому $R_{ik} = R$, $i \neq k$, $p_i = 1/M$, $i = 0, 1, \dots, M-1$. Після цих підстановок (1) набуває вигляду $\bar{R} = R P_{\text{ош усл}}/M$, що вказує на ідентичність завдань мінімізації \bar{R} і $P_{\text{ош усл}}$.

Визначимо стратегію, якої необхідно дотримуватися під час ухвалення рішень за критерієм Байєса. При цьому, з урахуванням раніше викладеного, одразу буде встановлено і стратегії ухвалення рішень за іншими критеріями.

Припустимо, що зі спостережуваної реалізації доступні тільки n дискретних відліків $y_i = y(t_i)$, $i = 0, 1, \dots, n$, що складають вектор спостереження $Y = [y_0, y_1, \dots, y_n]^T$. Пусть $W(Y/H_i)$ - умовна щільність ймовірності вектора Y за умови, що правильною є гіпотеза H_i , тобто в $y(t)$ міститься $s_i(t)$. Оскільки перешкоди повністю статистично задані, то $W(Y/H_i)$

– деяка конкретна функція, що задовольняє умовам $W(Y/H_i) \geq 0$ і $\int W(Y/H_i)dY = 1$.

Припустимо, що n – мірний простір векторів E^n розбито на M (відповідно до числа сигналів) областей розв’язання, що не перетинаються G_0, G_1, \dots, G_{M-1} :

$$G_i \cap G_k = \emptyset, \quad i \neq k, \quad i, k = 0, 1, \dots, M-1 \quad \cup_{i=0}^{M-1} G_i = E^n.$$

Тоді ухвалення рішення зводиться до визначення номера області, в яку потрапив вектор спостереження Y . Якщо $Y \in G_k$, то приймається рішення \hat{H}_k про присутність у $y(t)$ сигналу $s_k(t)$. Можливість такої “геометризації” зводить пошуки оптимальної стратегії до відшукування найкращого поділу E^n на області рішень.

Для того щоб знайти оптимальне правило поділу підставимо в (1) вираз для умовних ймовірностей помилок $p_{ik} = \int_{G_k} W(Y/H_i)dY$, що слідує з визначення областей G_0, G_1, \dots, G_{M-1} . Тоді

$$\bar{R} = \sum_{i,k=0}^{M-1} p_i R_{ik} \int_{G_k} W(Y/H_i)dY = \sum_{k=0}^{M-1} \int_{G_k} \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(Y/H_i)dY. \quad (4)$$

Очевидно, “призначення” конкретної конфігурації областей розв’язання зводиться до того, щоб перебравши всі вектори Y , розписати їх за M областям, включивши кожен в одну і тільки в одну область G_k . При цьому, як випливає з (4), кожен вектор увійде в один і тільки в один доданок суми за k , що відповідає тій області, за якою він закріплений. Тому мінімуму можна домогтися, якщо охопити область G_k саме ті вектори Y , для яких підінтегральний вираз у k -м інтегралі мінімальний. Отже, розбиття E^n на області G_0, G_1, \dots, G_{M-1} що мінімізує \bar{R} , буде таким, за якого в G_k включаються вектори Y , що задовольняють систему M нерівностей

$$\sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(Y/H_i) \leq \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{il} W(Y/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1. \quad (5)$$

Таким чином, на основі спостереження реалізації $y(t)$ необхідно встановити номер k , для якого спільно виконані нерівності (5), і прийняти рішення \hat{H}_k про наявність у $y(t)$ сигналу з номером k . Це правило може бути записано у вигляді

$$\sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(Y/H_i) \stackrel{\hat{H}_k}{\leq} \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{il} W(Y/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1, \quad (6)$$

де символ \hat{H}_k вказує на рішення, ухвалене за одночасного виконання всіх нерівностей у (6). Величина $\bar{R}\{y(t), k\} = \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(y(t)/H_i)$ визначає умовний або апостеріорний (обчислений для даної конкретної спостережуваної реалізації $y(t)$) середній ризик. Тому вираз (6) передбачає обчислення для розглядуваної реалізації $y(t)$ M значень умовного середнього ризику $\bar{R}\{y(t), i\}$, $i = 0, 1, \dots, M-1$, та прийняття рішення про наявність в $y(t)$ сигналу з тим номером k , для якого значення $\bar{R}\{y(t), i\}$ мінімальне.

Для ідеального спостерігача, мінімізуючи (2), слід вважати, що $R_{ik} = R$, $i \neq k$. Тоді вираз (6) набуває вигляду

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i) \stackrel{\hat{H}_k}{\leq} \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq l}}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1, \quad (7)$$

На підставі формули повної ймовірності $\sum_{i=0}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i) = W(y(t))$, згідно з (7), отримуємо

$$p_k W(y(t)/H_k) \stackrel{\hat{H}_k}{\geq} p_i W(y(t)/H_i), \quad i = 0, 1, \dots, M-1. \quad (8)$$

Оскільки, за теоремою множення ймовірностей $p_i W(y(t)/H_i) = W(y(t))P(H_i/y(t))$, то співвідношення (8) може бути переписано у вигляді

$$P(H_k/y(t)) \stackrel{\hat{H}_k}{\geq} P(H_i/y(t)), \quad i = 0, 1, \dots, M-1. \quad (9)$$

Величина $P(H_i/y(t))$ визначає апостеріорну (післядслідну) ймовірність гіпотези H_i , тобто ймовірність наявності i -го сигналу в $y(t)$ з урахуванням усіх відомостей, які можна отримати зі спостережуваної реалізації $y(t)$. Отже ідеальний спостерігач ухвалює рішення на користь сигналу, що має найбільшу апостеріорну ймовірність, тобто діє за правилом максимуму апостеріорної ймовірності.

Якщо дані про апіорні ймовірності ненадійні й кращим є критерій мінімуму суми умовних ймовірностей помилок (3), то відповідне оптимальне правило можна отримати з (8) за умови $p_i = 1/M, i = 0, 1, \dots, M - 1$:

$$W(y(t)/H_k) \stackrel{H_k}{\geq} W(y(t)/H_i), \quad i = 0, 1, \dots, M - 1. \quad (10)$$

Умовна щільність імовірності $W(y(t)/H_i)$, визначена за умови істинності гіпотези H_i (присутствія $s_i(t)$ в $y(t)$), – розглянута як функція номера гіпотези i при фіксованій реалізації $y(t)$, є функцією правдоподібності. Стратегія мінімізації виразу (3) зводиться до використання правила максимуму правдоподібності, тобто до підстановки прийнятої реалізації $y(t)$ у вираз для функції правдоподібності, відомий через детермінованість сигналів і статистичну визначеність завад, і добору i , такого за якого відбувається максимізація функції правдоподібності.

Обговорення

Наукову новизну результатів дослідження та їх практичне значення підтримано у ході дискусії науково-педагогічного складу кафедри інженерної підтримки Національного університету оборони України.

Висновки

Таким чином, зменшення кількості помилок оператора можливе наступними способами. По-перше, через вибір таких сигналів щодо стану об'єкта, які настільки відрізняються один від одного, що, піддаючись втручанню, вони не плутають їх при порівнянні об'єктивних зовнішніх сигналів зі своєю суб'єктивною семантичною оцінкою від індивідуальної свідомості. По-друге, оскільки процес свідомого пошуку рішення самого оператора є дуже повільним, в ситуаціях, які швидко розвиваються, ймовірність того, що людина знайде правильне рішення в процесі мислення, дуже мала. Основний спосіб підготувати оператора до дій у конкретних виробничих ситуаціях – це постійне навчання та тренування з метою передачі дій на стереотипи.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Про затвердження вимог щодо управління ризиками безпеки на об'єктах критичної інфраструктури 1 категорії критичності: Постанова КМ України від 1 квітня 2025 р. № 367. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/367-2025-%D0%BF#Text> (дата звернення 07.04.2025).
2. Бегун В., Науменко И. Безопасность жизнедеятельности (обеспечение социальной, техногенной и природной безопасности). Учеб. пособие, – М.: 2004. – 328 с.
3. Левин Б. Теоретические основы статистической радиотехники. Учеб. пособие, – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

4. Раскин Л. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. Учеб. пособие, – М., Сов. радио, 1976. – 344 с.
5. Данова К., Малішева В. Інформаційна ентропія як показник невизначеності у забезпеченні безпеки на робочих місцях працівників із інвалідністю. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць: Том 1 № 59 (2020): Системи управління, навігації та зв'язку.
6. Грабовський Г. Г., Ієвлев М. Г., Мойсеєнко С. Є. Взаємодія людини-оператора з автоматизованою системою керування. Математичні машини і системи. 2024. № 1. С. 77–86. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2024-1-77-86>.

References

1. On Approval of Requirements for Security Risk Management at Critical Infrastructure Facilities of Category 1 Criticality: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 367 of April 1, 2025. Available from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/367-2025-%D0%BF#Text> (Accessed: 07.04.2025).
2. Begun, V., & Naumenko, I. (2004). *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti (obespechenie sotsial'noi, tekhnogennai i prirodnoi bezopasnosti)* [Life Safety (Ensuring Social, Technogenic, and Natural Safety)]. Textbook. Moscow. 328 p.
3. Levin, B. (1989). *Teoreticheskie osnovy statisticheskoi radiotekhniki* [Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering]. Textbook. Moscow: Radio i Sviaz'. 656 p.
4. Raskin, L. (1976). *Analiz slozhnykh sistem i elementy teorii optimal'nogo upravleniia* [Analysis of Complex Systems and Elements of Optimal Control Theory]. Textbook. Moscow: Sovetskoe Radio. 344 p.
5. Danova, K., & Malisheva, V. (2020). Informatsiina entropiia yak pokaznyk nevyznachenosti u zabezpechenni bezpeky na robochykh mistsiakh pratsivnykiv iz invalidnistiu [Information entropy as an indicator of uncertainty in ensuring safety in the workplaces of employees with disabilities]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku. Zbirnyk naukovykh prats: Tom 1* [Control, Navigation and Communication Systems. Collection of Scientific Papers: Volume 1], 59 [59 (2020): Control, Navigation and Communication Systems].
6. Grabovskyi, H. H., Ievliev, M. H., & Moiseienko, S. Ye. (2024). Vzaiemodiia liudyny-operatora z avtomatyzovanoiui systemoiu keruvannia [Interaction of a human operator with an automated control system]. *Matematychni mashyny i systemy* [Mathematical Machines and Systems], 1, 77–86. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2024-1-77-86>.