

ІНЖЕНЕРІЯ СЕРЕДОВИЩА ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК : [331.45]

А. П. Бочковський
Одеський національний

політехнічний університет

КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В статті, автором запропоновано власну інтерпретацію терміну «безпека технічних систем» для застосування в галузі охорони праці та промислової безпеки. Визначені та охарактеризовані основні п'ять факторів від яких залежить гарантування значення прийняттого ризику виникнення небезпек з боку технічної системи. Відмічено, що такі значення ризику, повинні знаходитись у напівінтервалі ($-\infty$ до 10^{-6}]. В статті запропоновано, для оцінки рівня безпеки технічних систем, в галузі охорони праці, застосовувати комплексний критерій, що складається з комбінації окремих критеріїв оцінки факторів безпеки, у вигляді їх множини з урахуванням відповідних коефіцієнтів значущості.

Зазначено, що досягнення відповідності рівня технічної системи, впродовж заданого часу, встановленому критерію безпеки можливо реалізувати лише в рамках існуючої системи управління охороною праці на підприємстві (СУОПП), шляхом реалізації її функцій та вирішення відповідних завдань.

Ключові слова: охорона праці, технічна система, ризик, небезпека, «людський фактор», зовнішні фактори, екологічна безпека

В статье, автором предложена собственная интерпретация термина «безопасность технической системы», для использования в области охраны труда и промышленной безопасности. Определены и охарактеризованы основные пять факторов от которых зависит гарантирование значений приемлемого риска возникновения опасности со стороны технической системы. Отмечено, что такие значения риска, должны находиться в полуинтервале ($-\infty$ до 10^{-6}]. В рамках статьи предложено, для оценки уровня безопасности технических систем, в области охраны труда, использовать комплексный критерий, который состоит из комбинации отдельных критериев оценки факторов безопасности, в виде их множества, с учетом соответствующих коэффициентов значимости.

Определено, что достижение соответствия уровня технической системы, на протяжении заданного времени, установленному критерию безопасности возможно реализовать только лишь в рамках существующей системы управления охраной труда на предприятии (СУОТП), путем реализации ее функций и решения соответствующих задач.

Ключевые слова: охрана труда, техническая система, риск, опасность, «человеческий фактор», внешние факторы, экологическая безопасность

In the article, own interpretation of the term «technical system safety» for use in the field of occupational health and safety is suggested by the author. The main five factors, on which depend the guarantee the values of acceptable danger risk level in the technical system were detected and described. It was marked that such risk values must be in a semi interval ($-\infty$ to 10^{-6}). Within the limits of article it was suggested for evaluation the level of technical systems safety in the field of occupational health and safety to use the composite criterion, which consists of a combination of separate criteria for evaluation of safety factors as their set, taking into account the relevant coefficient of significance.

It was determined that a achievement of correspondence between the level of technical system during a specified time and the established safety criterion can be realized only within the existing occupational health and safety management system by the implementation of its functions and solution of relevant tasks.

Keywords: occupational health and safety, technical systems, risk, danger, «human» factor, external factors, ecologic safety

Постановка проблеми. Основною метою створення технічних систем є підвищення рівня продуктивності праці при максимальному скороченні кількості та трудомісткості операцій, що виконуються безпосередньо людиною. Сучасні складні автоматизовані технічні системи (ТС) практично досягли того рівня, при якому трудовитрати людини для отримання нею бажаного результату практично дорівнюють нулю. Однак, в той же час, людина, створюючи складні автоматизовані та роботизовані технічні системи, разом із досягненням стану комфорту, поступово, по мірі удосконалення ТС, віддає свою безпеку під їх контроль.

Аналіз статистичних даних, за останні десять років, свідчить про те, що у розвинутих країнах світу кожен рік в середньому відбувається близько 15% нещасних випадків, за видами подій, які пов'язані з технічними причинами (загальноприйнятий статистичний показник в розвинутих країнах світу).

В Україні через технічні причини (загальноприйнятий статистичний показник в Україні), відбувається в середньому 12% всіх зареєстрованих нещасних випадків (рис. 1) [1, 14].

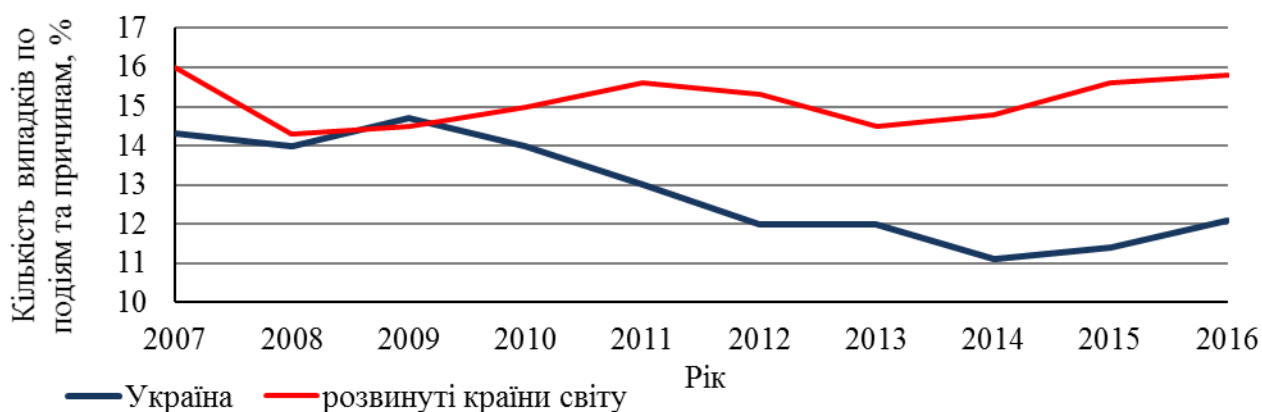


Рис.1. Динаміка кількості нещасних випадків по технічним причинам та подіям, які з ними пов'язані в Україні та розвинутих країнах світу

Найбільш поширеними подіями, що пов'язані з технічними причинами, були наступні: дія предметів та деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються, обрушення, обвалення предметів, матеріалів, породи, ґрунту, ураження електричним струмом, дія температур тощо.

Найбільш поширеними технічними причинами є: незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, територій, засобів виробництва, недосконалість технологічного процесу, його невідповідність вимогам безпеки, конструктивні недоліки та недостатня надійність технічних систем.

Також кожен рік фіксується близько 219 випадків промислових аварій і катастроф, внаслідок яких гине в середньому 7600 осіб. Однак найважливішою проблемою є навіть не наведені показники, а їх сталість протягом років, яка свідчить про те, що незважаючи на постійне удосконалення технічних систем, рівень їх безпеки залишається постійним [1, 2, 14, 15].

Окрім того, якщо розглянути світові тенденції розвитку виробництв, які виражаються у поступовому переміщенні технічних систем з підприємств Європи та США у треті країни з низьким рівнем оплати праці та відповідним рівнем фахової підготовки, то стає зрозумілим, що покращення зазначених показників годі чекати. Технічні системи, що застосовують в цих країнах, мають значно нижчий рівень безпеки ніж аналогічні, що використовуються на підприємствах розвинутих країн [6].

В Україні ситуація з безпекою функціонування технічних систем погіршується ще й високим рівнем їх моральної та матеріальної зношеності, який вже давно перевищив позначку 84% [1, 2].

Однак, навіть і нові, сучасні технічні системи теж мають низку недоліків, які можуть значно впливати на рівень їх безпеки, за рахунок:

- постійної модернізації, термін якої неухильно скорочується;
- ускладнення конструкції елементів системи та їх взаємозв'язків;
- збільшення кількості складових елементів в складі ТС;
- заміни більш надійних дорогих конструктивних матеріалів (метали), на дешевші з меншим рівнем надійності (пластик, тощо);
- поширеного використання шкідливих для здоров'я людини та довкілля матеріалів;
- зниження терміну експлуатації елементів, та системи в цілому, який дорівнює як правило терміну гарантії заводу виробника тощо.

Визначені недоліки свідчать про те, що розвиток технічних систем спрямовано в першу чергу на інтенсифікацію рівнів їх продажу (маркетинговий пріоритет) за рахунок зниження безпеки та надійності.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку технічних систем необхідно вирішувати комплекс проблем, що пов'язаний з підвищенням рівня їх безпеки, при одночасному збереженні необхідних споживчих якостей.

Комплекс проблем пов'язаних з безпекою технічних систем та шляхи їх вирішення, розглядаються у рамках порівняно нової теорії з відповідною назвою, яка тісно пов'язана з такими

відомими теоріями як теорія надійності, теорія ризику, теорія систем, теорія помилок та іншими. В теорії безпеки технічних систем використовуються поняття, ідеї та принципи, що сформульовані в цих теоріях, однак власної загальноприйнятої наукової концепції і методології, що спрямовані на вирішення відповідних проблем, поки що не існує.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблеми формування та розвитку теорії безпеки технічних систем розглядалися у наступних роботах [7-13]. Однак і досі залишаються не вирішеними проблеми загальнонаукової термінології в рамках теорії, визначення основних критеріїв оцінки безпеки технічних систем, а також особливостей впливу «людського» та зовнішніх факторів на стан безпеки ТС. Зазначені проблеми, не дозволяють чітко сформулювати концептуальні основи теорії безпеки, що в свою чергу унеможлиблює її подальший розвиток.

Метою даної роботи є визначення концептуальних аспектів та формалізація комплексного критерію оцінки безпеки технічних систем в галузі охорони праці.

Досягнення поставленої мети у роботі передбачається у процесі вирішення наступних **завдань**:

- визначення смислової інтерпретації терміну «безпека технічної системи»;
- встановлення факторів, що впливають на рівень безпеки технічних систем;
- формалізація комплексного критерію оцінки безпеки технічних систем;
- аспектація функціональних взаємозв'язків між теорією безпеки технічних систем, охороною праці та промисловою безпекою.

Виклад основного матеріалу. Розвиток будь-якого наукового дослідження (теорії) завжди починається з формування концепції, тобто способу розуміння (трактовки) певного процесу, системи, явища тощо. В першу чергу це стосується розуміння смислових аспектів дослідження. На сьогоднішній момент не існує загальноприйнятого єдиного смислового визначення сполученого терміну «безпека технічних систем», тому виникає певний момент невизначеності, щодо мети та об'єкту досліджень відповідної теорії.

Термін «безпека технічної системи» складається з двох основних визначальних термінів: «безпека» та «технічна система». Термін «безпека» хоч і має велику кількість тлумачень, але в узагальненому вигляді визначається як стан захищеності певного об'єкту (об'єкту захисту) від проявів небезпек [3]. Стан захищеності об'єкту визначається в свою чергу величиною ризику виникнення небезпек, який, як відомо, не може дорівнювати нулю і повинен мати прийнятне значення, тобто знаходитись у напівінтервалі $(-\infty \text{ до } 10^{-6}]$.

В якості небезпеки (небезпечної події) може розглядатися широке коло подій, що пов'язані з інформаційною, фінансовою, екологічною небезпекою тощо, а також небезпекою для життя і здоров'я людини. І саме остання, яка є найважливішою, буде розглядатися в рамках даного дослідження.

Термін «технічна система» теж має декілька тлумачень, та визначається як штучно створений об'єкт техніки, який складається із взаємопов'язаної між собою системи елементів (складових). Таким чином, якщо розглядати в смисловому аспекті сполучений термін «безпека технічної системи», то в якості об'єкту захисту повинна виступати сама технічна система. Але оскільки технічна система завжди асоціюється з небезпекою, буде більш правильним вважати, що в якості об'єкту захисту повинні виступати людина, суспільство та навколишнє (виробниче)

середовище, яким у разі реалізації ризику у небезпеку буде завдано шкоди. Тобто смислове навантаження терміну треба змістити в площину, в якій технічна система буде розглядатися як потенційний об'єкт небезпеки, що може завдати шкоди об'єкту захисту.

Тому термін «безпека технічної системи», на думку автора треба тлумачити як забезпечення стану захищеності об'єкта від проявів небезпек з боку технічної системи з гарантованою величиною реалізації відповідного ризику не більшою ніж 1×10^{-6} випадків у рік (визначення автора).

Гарантування прийняттого значення ризику прояву небезпек з боку технічної системи, залежить від багатьох факторів:

1. Рівня надійності елементів та ТС в цілому;
2. Умов в яких функціонує ТС;
3. Відповідності матеріалів (з яких виготовлена система та її складові) і технологічних режимів експлуатації ТС діючим санітарно-гігієнічним вимогам;
4. Врахування ергономічних принципів взаємодії між людиною та ТС;
5. Характеристики та ефективності заходів і засобів захисту передбачених для нормального і аварійного режимів роботи ТС тощо.

Рівень надійності ТС (як і рівень її безпеки) напряму залежить від рівня надійності (безпеки) її складових елементів і є зрозумілим, що збільшуючи кількість елементів, які входять до складу системи, ми збільшуємо ймовірність настання небезпечної події. Надійність технічної системи (елемента системи) визначається спроможністю виконувати свої функції в заданих режимах експлуатації, зберігаючи при цьому свої експлуатаційні характеристики протягом певного часу. Надійна ТС, це така система яка має наступні властивості:

- безвідмовність, спроможність системи зберігати працездатність протягом певного часу;
- довговічність, властивість системи зберігати працездатність до досягнення граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів;
- зберігаємість, властивість ТС безперервно зберігати працездатний стан під час зберігання, транспортування тощо;
- ремонтпригодність, пристосованість ТС до попередження, виявлення та успішного усунення несправностей.

З точки зору забезпечення безпеки людини та довкілля, найбільш важливими властивостями ТС є безвідмовність, довговічність та зберігаємість, які прямо пов'язані з можливістю продукування ризику виникнення небезпечної події (через раптову втрату працездатності) за рахунок впливу на систему низки факторів стохастичної та нестохастичної природи. Найбільш вагомими з них є фактори стохастичної природи, які можна умовно розділити на дві групи: «людський фактор» та зовнішні (природні і виробничого середовища). Ці групи факторів та вагомість їх впливу на стан функціонування систем був розглянутий у попередніх дослідженнях автора [5].

Також значний вплив як на властивості ТС, так і на рівень її безпеки в цілому чинять умови експлуатації, зберігання чи транспортування технічної системи. Зазначені умови доцільно розподілити на дві основні групи:

1. Умови зовнішнього середовища в яких експлуатується, зберігається, транспортується ТС ;
2. Умови технічного обслуговування системи.

До умов зовнішнього середовища можна віднести мікрокліматичні показники та показники складу повітря виробничого приміщення - температуру, відносну вологість, наявність і концентрацію у повітрі певних хімічних речовин та їх сполук, які здатні викликати процеси корозії, пошкодження ізоляції електроустаткування тощо.

Умови технічного обслуговування визначаються сервісними часовими інтервалами, характеристикою проведення необхідних регламентних робіт, а також якістю матеріалів, що застосовуються під час їх проведення.

Зазначені умови визначаються технічною супровідною документацією заводу-виробника технічної системи (відповідними інструкціями). Вплив цих умов на стан безпеки ТС, напряму залежить від дисципліни виконання вимог інструкції людиною (виконавцем робіт, керівником, контролером тощо), іншими словами від впливу «людського фактора» [4].

Також рівень безпеки ТС визначається характеристиками матеріалів, з яких виготовлені конструкційні елементи ТС або речовин, які виділяються у зовнішнє середовище під час її нормального чи аварійного режиму експлуатації. Даний аспект дуже важливий з огляду як на можливий безперервний чи дискретний характер контакту працівника з ТС (небезпека виникнення профзахворювань), так і на можливість нанесення шкоди навколишньому (виробничому) середовищу (екологічна небезпека) та відповідно населенню (працівникам), яке проживає (які працюють) в ньому.

В рамках цього аспекту технічна система може вважатися безпечною, якщо матеріали з яких виготовлені її елементи відповідають номенклатурі, що зазначена у відповідних державних санітарних нормах країни, де така система буде експлуатуватись. А сукупні концентрації речовин, які можуть виділятися у зовнішнє середовище при будь-якому режимі експлуатації (включаючи аварійний) не можуть бути вищими за нормовані гранично-допустимі значення.

Досягнення стану безпеки в даному випадку може бути забезпечено проходженням процесу обов'язкової сертифікації ТС, в тому числі повторною, країною імпортером. Якість проведення цього процесу залежить від якості відповідної нормативно-правової бази та сумлінності проведення сертифікації виконавцем (групою виконавців), тобто знову ж таки від впливу «людського фактора»

Не менш важливим є також ергономічний аспект взаємодії людини і технічної системи, який впливає на стан безпеки та прямо пов'язаний з психофізіологічними причинами виникнення нещасних випадків.

Дотримання науково-обґрунтованих ергономічних принципів на всіх стадіях життєвого циклу системи дозволяє значно збільшити періоди до настання стану втоми працівника та запобігти виникненню відповідних випадків виробничого травматизму і профзахворювань.

Однак, якщо все ж таки негативний прояв від дії будь-якого з вищезазначених факторів (або їх сукупності) стався, для недопущення подальшого виникнення небезпечної події та зниження ймовірності нанесення шкоди життю і здоров'ю людини, в рамках функціонування будь-якої ТС, на всіх стадіях її життєвого циклу, повинні бути передбачені відповідні заходи та засоби безпеки.

Заходи та засоби безпеки можуть вважатися ефективними лише тоді, коли вони пройшли певні практичні випробування часом, в тому числі у критичних режимах експлуатації ТС.

Найбільш важливі заходи і засоби безпеки, на розробку, впровадження та контроль ефективності функціонування яких необхідно звернути особливу увагу, є ті що спрямовані на мінімізацію та усунення головної причини виникнення потенційних небезпек – «людського фактора» [4].

Таким чином критерієм оцінки безпеки певної технічної системи (КБ), який може бути застосовано в галузі охорони праці, можна вважати комплексний критерій що складається з комбінації окремих критеріїв у вигляді їх множини. У формалізованому вигляді критерій КБ може бути представлений наступним чином:

$$K_{\text{б}} = K_{\text{н}} \times K_{\text{уо}} \times K_{\text{снг}} \times K_{\text{е}} \times K_{\text{зз}}, \quad (1)$$

де K_n – критерій надійності технічної системи; K_{yo} – критерій відповідності умовам обслуговування; $K_{сгн}$ – критерій відповідності системи діючим санітарно-гігієнічним нормам; K_e – критерій відповідності технічної системи ергономічним вимогам; $K_{зз}$ – критерій ефективності передбачених заходів і засобів безпеки.

В свою чергу, кожен критерій, повинен враховувати вищезазначені особливості впливу на технічну систему кожного відповідного фактора від якого залежить її рівень безпеки.

Є зрозумілим, що фактори, від яких залежить рівень безпеки технічної системи за своїм впливом є нерівнозначні. Тому під час визначення критерію K_b , доречною та необхідною умовою є додаткове врахування певних коефіцієнтів значущості для кожного окремого критерію, які доцільно визначати на основі математичних методів обробки статистичних даних. Одним з найбільш значущих, очевидно, повинен стати коефіцієнт, що враховує вплив на технічну систему стохастичних (важко передбачуваних) за своєю природою «людського» та зовнішніх факторів.

Оскільки математичне обґрунтування кожного з зазначених критеріїв є достатньо складним завданням, яке неможливо вирішити в рамках даної статті, можна лише запропонувати інтервали їх варіювання.

Так як однією з основних вимог, що висуваються до будь якого критерію є його безрозмірність, то доцільним буде запропонувати наступні інтервали варіювання – від 0 до 1. Де вища границя, що дорівнюватиме одиниці, буде умовно відповідати прийнятним значенням ризику виникнення небезпек (відповідно до концепції прийнятного ризику), які знаходяться у напівінтервалі $(-\infty \text{ до } 10^{-6}]$. Тобто при таких значеннях рівня ризику виникнення небезпек (R), технічну систему можна вважати безпечною. При цьому, обов'язковою умовою, є відповідність ТС даному критерію протягом певного часу (t). Цей час повинен перевищувати гарантійний термін експлуатації технічної системи, тобто $t \rightarrow \max$.

Відповідно нижня, нульова границя критерію, буде відповідати небезпечній системі зі значеннями ризику виникнення небезпек 10^{-3} і вище (неприйнятний рівень ризику). Проміжні значення критерію в даному випадку доцільно визначати з використанням математичного методу аналізу ієрархій.

Досягнення відповідності рівня технічної системи, протягом заданого часу (t), встановленому критерію безпеки можливо реалізувати лише в рамках існуючої на підприємстві системи управління охороною праці (СУОПП), шляхом реалізації її функцій та вирішення відповідних завдань.

Система управління охороною праці уособлює відому єдину систему (ланцюг) функціонування підприємства - «людина – машина (технічна система) - середовище». В даному випадку взаємозв'язки теорії безпеки технічних систем та охорони праці є очевидними, оскільки СУОПП спрямована на забезпечення безпеки людини через безпеку функціонування ТС у відповідному середовищі. Окрім того, в рамках СУОПП, через реалізацію її функцій змінюється більшість факторів, що впливають на рівень безпеки технічної системи, наприклад змінюються запроектовані або розробляються додаткові заходи і засоби безпеки, відповідно до умов експлуатації тощо.

Висновки.

1 Термін «безпека технічних систем» в галузі охорони праці можна інтерпретувати як: забезпечення стану захищеності об'єкту від проявів небезпек з боку технічної системи із гарантованою величиною реалізації відповідного ризику не більшою ніж 1×10^{-6} випадків у рік.

2 Гарантування прийняттого значення ризику прояву небезпек з боку технічної системи, залежить від наступних факторів:

- рівня надійності елементів та ТС в цілому;
- умов в яких функціонує ТС;
- відповідності матеріалів (з яких виготовлена система та її складових) і технологічних режимів експлуатації ТС діючим санітарно-гігієнічним вимогам;
- врахування ергономічних принципів взаємодії між людиною та ТС;
- характеристик та ефективності заходів і засобів захисту передбачених для нормального і аварійного режимів роботи ТС тощо.

3 Критерієм оцінки безпеки певної технічної системи, який може бути застосовано в галузі охорони праці, можна вважати комплексний критерій, що складається з комбінації окремих критеріїв оцінки факторів, від яких залежить її рівень безпеки, у вигляді їх множини.

4 Досягнення відповідності рівня технічної системи, впродовж заданого часу (t), встановленому критерію безпеки можливо реалізувати лише в межах існуючої системи управління охороною праці на підприємстві (СУОПП), шляхом реалізації її функцій та вирішення відповідних завдань.

Література

1 Аналіз страхових нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань в Україні у 2006 – 2016 рр. [Електронний ресурс] / Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань в Україні. - Режим доступу: <http://www.social.org.ua/activity/stat?rstart=3>

2 Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації в Україні, що сталися впродовж 2006 – 2016 рр. [Електронний ресурс] / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. - Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/>

3 Академічний тлумачний словник [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://sum.in.ua/>

4 Бочковський А. П. «Людський фактор» та професійний ризик: випадковість чи закономірність [Текст] / А. П. Бочковський // Зернові продукти і комбікорми, 2014. № 4 (56). С. 7-13. doi:10.15673/2313-478x.56/2014.36124

5 Бочковський А. П. Невизначеність стану ергатичних систем: фактори, причини та шляхи мінімізації [Текст] / А. П. Бочковський // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування (секція Інженерія середовища та безпека життєдіяльності). – 2016. №. 2 (14). С. 114 – 122. doi:10.13140/RG.2.1.5176.8082

6 Охрана труда в цифрах и фактах [Электронный ресурс] / Доклад Международной организации труда. – Режим доступа: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-moscow/documents/genericdocument/wcms_312036.pdf

7 Демидович Н.О. Гармонизация терминологии в области надёжности [Текст] / Н.О. Демидович // Методы менеджмента качества, 2002. № 10. С. 43 - 47.

8 Рябинин И. А. Логика теории безопасности и реальный мир [Текст] / И.А. Рябинин // Морской вестник, 2005. № 3(19). С. 109-112.

9 Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: С.-Петербург. ун-та, 2007. 276 с.

10 Белов В.П. О понятиях «надёжность» и «безопасность» технических систем с позиций разработчиков [Текст] / Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. // Методы менеджмента качества, 2003. №10. С. 46 – 49

11 Горопашная А.В. Применение MATLAB для анализа безопасности и оценки риска сложных технических систем [Текст] //Труды Всероссийской научной конференции «Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB». СПб.: СПбГУ, 2007. с.157-164.

12 Лепихин А. М. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем [Текст] / А. М. Лепихин, В.В. Москвичев, С. В. Доронин // Вычислительные технологии, 2009. № 6 (14). с. 58-70. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/nadezhnost-zhivuchest-i-bezopasnost-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem>

13 Гаенко В.П. Безопасность технических систем: методологические аспекты теории, методы анализа и управления безопасностью. С-Пб.: СВЕН, 2014 г. – 366 с.

14 European Agency for Safety and Health at Work. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://osha.europa.eu/>

15 Centre for research on the epidemiology of disasters [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.cred.be/>

© А. П. Бочковський

Надійшла до редакції 14 квітня 2017 р.

Рекомендував до друку

докт. техн. наук Я. М. Семчук