

УДК 043.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-4(14)-28-33

Людмила Кузьмич

**МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ НА НАДІЙНІСТЬ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

*Актуальність теми дослідження.* Особливістю проблем надійності складних технічних систем є їхній зв'язок з усіма етапами життєвого циклу цих об'єктів, проектування, зведення, експлуатації та розвитку. Тому необхідно виявляти можливі зв'язки й суперечності при формуванні конструкції, вузлів та при виборі матеріалів.

*Постановка проблеми.* Ідентифікація фактичного стану складних технічних систем та споруд, виявлення граничного стану, прогнозування динаміки зміни стану в процесі експлуатації, визначення залишкового ресурсу – усі ці завдання є складовими єдиної проблеми – забезпечення надійності складних технічних систем.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Виділено чотири властивості надійності: безвідмовність, довговічність, збережуваність та ремонтпридатність.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Для визначення надійності складних технічних конструкцій необхідно враховувати впливи, тобто будь-які причини, у результаті яких у конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану.

*Постановка завдання.* На основі теорії надійності здійснити аналіз залежності властивостей надійності складних технічних систем від різноманітних впливів, зокрема механічних у вигляді різного роду деформацій та напружень.

*Виклад основного матеріалу.* Здійснено аналіз різного роду впливів на складну технічну систему, у тому числі й механічних.

*Висновки відповідно до статті.* У більшості випадків вплив мінливості геометричних характеристик на надійність конструкцій є набагато меншим у порівнянні з впливом мінливості навантажень та технічних характеристик (фізико-механічних властивостей) матеріалів. У таких випадках геометричні характеристики розглядаються як детерміновані величини з номінальними значеннями, вказаними в проекті або наведеними в інших документах.

*Ключові слова:* складна технічна система; надійність; властивості надійності; механічні впливи; деформації; напруження.

Рис.: 1. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Надійність – є вимогою сучасного стану розвитку техніки. Складні технічні конструкції та споруди не є винятком.

Для сучасних таких конструкцій та споруд характерним є їхній розвиток у напрямку збільшення параметрів, розмірів, продуктивності, автоматизації тощо, підвищення вимог безпечної експлуатації та надійної роботи.

Особливістю проблем надійності складних технічних систем є їхній зв'язок з усіма етапами життєвого циклу цих об'єктів, проектування, зведення, експлуатації та розвитку. Кожен з етапів здійснює свій внесок у вирішення завдань загалом. Основні рішення з надійності, прийняті на стадії проектування та зведення, безпосередньо впливають на конструкцію чи споруду при експлуатації, які часто вступають у суперечність між собою. Тому необхідно виявляти можливі зв'язки й суперечності при формуванні конструкції, вузлів та при виборі матеріалів.

**Постановка проблеми.** Під складними технічними системами розуміють системи, в яких при виокремленні або додаванні компонентів виникають якісно нові властивості системи. Кожен компонент системи може бути описаний набором характерних ознак, значення яких визначають поточний стан компонента й системи загалом. Таким чином, поведінка системи описується вектором значень характерних ознак з урахуванням впливу зовнішніх чинників на поведінку системи [1].

Основними сучасними ознаками складної технічної системи є [1-4]:

- наявність певної єдності й мети, що сприяють виробленню оптимальних шляхів виходів із певної множини входів. Оптимальність виходів оцінюється за заздалегідь розробленими критеріями ефективності;
- виконання великої кількості різних функцій, які здійснюються безліччю елементів системи;
- складність функціонування (зміна однієї змінної тягне за собою зміну багатьох змінних і здебільшого нелінійним способом);
- високий ступінь автоматизації;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- можливість статистичного опису, що надходить у систему невизначеності. Це означає, що неможливо передбачити точного значення зовнішніх навантажень, а застосування альтернативних методів визначення пікових навантажень у виробничих умовах є складним.

Ідентифікація фактичного стану складних технічних систем та споруд, виявлення граничного стану, прогнозування динаміки зміни стану в процесі експлуатації, визначення залишкового ресурсу – усі ці завдання є складовими єдиної проблеми - забезпечення надійності складних технічних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [2]. Це визначення терміну використовують для не кількісного опису властивостей безвідмовності, довговічності ремонтпридатності та збережаності чи поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку [2]. В основному безвідмовність розглядається стосовно режиму роботи (дії, функціонування, застосування) об'єкта.

Довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу в граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту. У загальному випадку довговічність об'єкта вимірюється його технічним ресурсом або строком служби. Довговічність обмежена не відмовою об'єкта, а переходом його в граничний стан, що означає, що необхідно проводити комплексний або середній ремонт, або взагалі неможлива подальша експлуатація об'єкта. Лише для об'єктів, які не ремонтуються, відмова є одночасним переходом у граничний стан.

Збережаність – властивість об'єкта зберігати в заданих значеннях параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції під час і після зберігання та (чи) транспортування [2]. Зберігання і транспортування об'єкта впливає на деякі важливі його характеристики функціонування.

Основна ціль експлуатації об'єкта – отримання заданих результатів від його застосування. Тому надзвичайно важлива та складова збережаності, яка зумовлює вплив збереження і транспортування на його наступну поведінку в робочому режимі.

Таким чином, збережаність зводиться до двох складових. Перша складова властивості зумовлює поведінку об'єкта під час зберігання або транспортування, а друга – проявляється через зміну поведінки об'єкта під час застосування об'єкта після його зберігання або транспортування. Ці зміни поведінки легко встановлюються, якщо порівняти поведінку двох груп однакових об'єктів, одна група яких до цього зберігалася або транспортувалася, а інша – використовується практично одразу після виробництва чи будівництва.

Ремонтпридатність – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту [2]. У загальному випадку ремонтпридатність – це поєднання технологічності для технічного обслуговування й ремонтної технологічності.

Ремонтпридатність визначає пристосованість об'єкта не тільки до відновлення стану, а також до попередження виникнення відмов та пошкоджень. Відновлення нормального технічного стану об'єкта здійснюється здебільшого при його ремонті, а попередження порушень цього стану – при технічному обслуговуванні. При нових ремонтах зазвичай здійснюють профілактичні заходи, а при технічному обслуговуванні інколи можуть виконувати відновлювальні роботи, хоча у відносно невеликому об'ємі.

Ремонтпридатність може розглядатися як складна властивість, складові якої характеризують пристосованість об'єкта до проведення в першому наближенні, окремо технічного обслуговування й ремонту, а при більш детальному розгляді, – пристосованість

до окремих типових технологічних операцій – як ремонту, так і технічного обслуговування. Тоді розглядають такі похідні від ремонтпридатності властивості об'єкта, як контролепридатність, доступність для заміни окремих частин об'єкта, їх легкозйомність, взаємозамінність тощо. Ремонтпридатність оцінюється за допомогою показників, які визначаються розміром часу, роботи, коштів і матеріальних ресурсів, які необхідно витратити для ремонту чи технічного обслуговування [5–9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У свою чергу, ці властивості в деяких випадках залежать від міцності, стійкості, відновлюваності, безпеки й інших більш простих властивостей. Спрощена схема співвідношення областей понять властивостей наведена на рисунку.

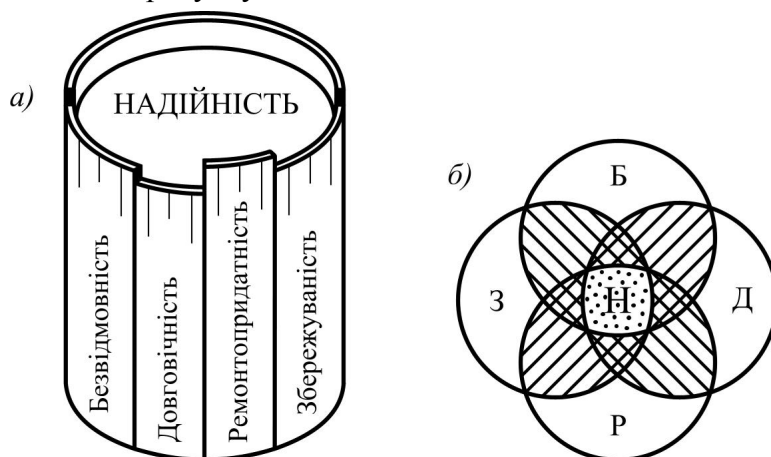


Рис. Модель співвідношень властивостей надійності:

а – просте; б – комплексне

Аналіз простого співвідношення властивостей надійності показує, що надійність об'єкта загалом буде більшою мірою характеризуватися найменшим значенням однієї із властивостей (рисунок, а). Співвідношення різних властивостей надійності при їх взаємодії має комплексний характер (рисунок, б) і не в усіх випадках може бути визначене через складність цієї взаємодії.

Крім того, для коректного якісного та кількісного аналізу надійності складних технічних конструкцій необхідно враховувати впливи, тобто будь-які причини, в результаті яких у конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану.

**Постановка завдання.** На основі теорії надійності здійснити аналіз різноманітних впливів, зокрема механічних у вигляді різного роду деформацій та напружень, на властивості надійності складних технічних систем.

**Виклад основного матеріалу.** Вихідними даними для розрахунку є параметри об'єкта, які характеризують [10-13]:

- впливи експлуатаційного середовища;
- властивості матеріалів;
- розміри, положення в просторі, умови закріплення конструкцій та їхніх елементів.

Ці параметри розглядаються переважно як випадкові величини, випадкові послідовності або випадкові процеси, а їх значення, закони розподілу, частотно-часові характеристики і правила врахування мінливості встановлюються нормами проектування.

Норми проектування конструкцій різного призначення з різних матеріалів повинні також враховувати можливу залежність вихідних даних від умов довкілля.

Механічні впливи, що враховуються в розрахунку безпосередньо, розглядаються як сукупність сил, прикладених до конструкції (навантаження), або як вимушені переміщення і деформації елементів конструкції. Інші впливи немеханічної природи (наприклад, впливи агресивного середовища) враховуються в розрахунку опосередковано.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Залежно від причини виникнення впливи поділяються на основні та аварійні.

Основні впливи є наслідками природних явищ або людської діяльності. Це можуть бути впливи від води чи температури на об'єкт, від технологічного маніпулювання режимом роботи об'єкта тощо.

Аварійні впливи є небажаними результатами людської діяльності (наслідками грубих помилок), або результатами несприятливого збігу обставин (до аварійних можуть бути віднесені і дуже рідкісні впливи природного походження такі, як навантаження від смерчів, цунамі, катастрофічних паводків тощо).

Залежно від зміни в часі впливи поділяються на постійні та змінні.

Постійні впливи діють під час усього терміну експлуатації об'єкта і значення яких неістотно змінюються в часі.

Змінні впливи характеризуються зміною значень у часі відносно середнього, якими не можна нехтувати.

Залежно від характерної тривалості безперервної дії на конструкції  $T_d$  змінні навантаження поділяються на тривалі та короткочасні.

Тривалі впливи характеризуються тривалістю дії  $T_d$ , яка може наближатися до встановленого терміну експлуатації  $T_{ef}$  будівельного об'єкта.

Короткочасні впливи характеризуються тим, що для них  $T_d \ll T_{ef}$  і які, у свою чергу, можуть поділятися на повторні та епізодичні.

Залежно від способу прикладення навантажень у просторі впливи можуть бути фіксованими або вільними.

Фіксованими є такі впливи, що діють тільки на визначені місця конструкції.

Вільними впливами розглядаються такі впливи, які можуть довільно розподілятися по конструкції в деяких заданих межах.

Урахування вільних навантажень може бути зведене до розгляду низки комплексів фіксованих навантажень, одержаних шляхом фіксації можливого розподілу вільних навантажень у просторі.

**Висновки відповідно до статті.** У більшості випадків вплив мінливості геометричних характеристик на надійність конструкцій є набагато меншим у порівнянні з впливом мінливості навантажень та технічних характеристик (фізико-механічних властивостей) матеріалів. У таких випадках геометричні характеристики розглядаються як детерміновані величини з номінальними значеннями, вказаними в проекті або наведеними в інших документах.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ 2470-94. Надійність техніки. Системи технологічні Терміни та визначення / Держстандарт України. – К., 1994. – 24 с.
2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення / Держстандарт України. – К., 1994. – 90 с.
3. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення / Держстандарт України. – К., 1994. – 38 с.
4. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги / Держстандарт України. – К., 1994. – 37 с.
5. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Основні положення / Держстандарт України. – К., 1995. – 41 с.
6. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення / Держстандарт України. – К., 1996. – 41 с.
7. ДСТУ-НБВ.1.2-13-2008. Система забезпечення надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDN) / Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 80 с.

8. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 30 с.

9. Надежность и эффективность в технике. Т. 8 / под ред. В. И. Кузнецова, Е. Ю. Барзеловича. – М.: Машиностроение, 1990. – 319 с.

10. Kuzmych L. Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems / L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk // Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085J (1 October 2018). DOI: 10.1117/12.2501661.

11. Kuzmych L. Study of the durability of reinforced concrete structures of engineering buildings. Advances in Intelligent Systems and Computing / L.Kuzmych, V.Kvasnikov // International Conference on Systems, Control and Information Technologies, SCIT 2016. 20 May 2016 through 21 May 2016; Code 187699. Warsaw; Poland, 2017. – Volume 543. – P. 659-663.

12. Wu, S., Clements-Croome, D., Fairey, V., et al.: Reliability in the whole life cycle of building systems. Eng. Constr. Architectural Manage. 13(2), 136–153 (2006).

13. Chybowski, L., Żółkiewski, S.: Basic Reliability Structures of Complex Technical Systems. Springer International Publishing Switzerland (2015).

### References

1. Nadiinist tekhniky. Systemy tekhnolohichni Terminy ta vyznachennia [Reliability of technology. Technological systems. Terms and definitions]. DSTU 2470-94 (April 29, 1994) [in Ukrainian].

2. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia [Reliability of technology. Terms and definitions]. DSTU 2860-94 (December 28, 1994) [in Ukrainian].

3. Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhnennia [Reliability of technology. Reliability analysis. Substantive provisions]. DSTU 2861-94 (April 29, 1994).

4. Nadiinist tekhniky. Prohrama zabezpechennia nadiinosti. Zahelni vymohy [Reliability of technology. Reliability program. general requirements]. DSTU 2863-94 (December 12, 1994) [in Ukrainian].

5. Nadiinist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnymy danymy. Osnovni polozhnennia [Reliability of technology. Methods of estimation of reliability indexes according to experimental data. Substantive provisions]. DSTU 3004-95 (Июль, 31, 1995) [in Ukrainian].

6. Nadiinist tekhniky. Modeli vidmov. Osnovni polozhnennia [Reliability of technology. Failure models. Substantive provisions]. DSTU 3433-96 (October 2, 1996) [in Ukrainian].

7. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Nastanova. Osnovy proektuvannia konstrukttsii [System of reliability and safety in construction. Attitude. Fundamentals of Designing Structures] (EN 1990:2002, IDN). Мінрегіонбуд України (Июль 12, 2009) [in Ukrainian].

8. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Nastanova. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstrukttsii ta osnov [System of reliability and safety in construction. Attitude. General principles of ensuring the reliability and constructive safety of buildings, structures, constructions and foundations] DBN V.1.2-14-2009. Мінрегіонбуд України (Июнь 22, 2009).

9. Kuznetcova, V.I., Barzelovicha, E.Iu (ed.) (1990). Nadezhnost i effektivnost v tekhnike [Reliability and efficiency in technology], vol. 8. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

10. Kuzmych, L., Kobylanskyi, O. & Duk, M. (2018). Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems. *Proc. SPIE 10808n Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501661.

11. Kuzmych, L. & Kvasnikov, V. (2016). Study of the durability of reinforced concrete structures of engineering buildings. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 543, pp. 659-663 (20 May 2016 through 21 May 2016).

12. Wu, S., Clements-Croome, D. & Fairey, V. (et al) (2006). Reliability in the whole life cycle of building systems. *Eng. Constr. Architectural Manage.* 13(2), 136–153 (2006). DOI: <https://doi.org/10.1108/09699980610659607>.

13. Chybowski L., Żółkiewski S. (2015). Basic Reliability Structures of Complex Technical Systems. In: Rocha A., Correia A., Costanzo S., Reis L. (eds) New Contributions in Information Systems and Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 354. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16528-8\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16528-8_31).

UDC 043.5

*Lyudmyla Kuzmych*

## MECHANICAL IMPACTS ON THE RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

**Urgency of the research.** *The peculiarity of problems of reliability of complex technical systems is their connection with all stages of the life cycle of these objects of objects, design, construction, operation and development. Therefore, it is necessary to identify possible connections and contradictions in the formation of structures, nodes and when selecting materials.*

**Target setting.** *Identification of the actual state of complex technical systems and structures, detecting the boundary condition, forecasting the dynamics of changes in the state of the operation, determining the residual resource - all these tasks are the components of a single problem - ensuring the reliability of complex technical systems.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *There are four properties of reliability: reliability, durability, preservation and maintainability.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *In order to determine the reliability of complex technical constructions, it is necessary to take into account the effects, that is, any causes that result in changes in the design of internal stresses, deformations or other parameters of the state.*

**The research objective.** *On the basis of the reliability theory an analysis of the dependence of the properties of the reliability of complex technical systems on various influences, in particular mechanical, in the form of various deformations and stresses, has been carried out.*

**The statement of basic materials.** *Analysis of various impacts on a complex technical system, including mechanical ones.*

**Conclusions.** *In most cases, the influence of the variability of geometric characteristics on the reliability of structures is much smaller compared to the influence of the variability of loads and technical characteristics (physical and mechanical properties) of materials. In such cases, the geometric characteristics are considered as deterministic values with the nominal values specified in the design or given in other documents.*

**Keywords:** *complex technical system; reliability; properties of reliability; mechanical influences; deformations; stresses.*

*Fig.: 1. References: 13.*

**Кузьмич Людмила Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, Національний авіаційний університет (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Kuzmych Lyudmyla** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, post. doc. researcher at the Development of Computerized Electrical Systems and Technology, National Aviation University (prosp. Kosmonavta Komarova, 1, 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [klv@nau.edu.ua](mailto:klv@nau.edu.ua)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0727-0508>

**Scopus Author ID:** 57192956583