

СЦЕНАРІЇ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті розглядаються можливі сценарії виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов складних технічних систем на основі теорії надійності, теорії множин та системного аналізу. Здійснено аналіз небезпечних станів та відмов елементів технічних конструкцій, а також різного роду впливів, що призводять до виникнення та накопичення пошкоджень та відмов.

Ключові слова: складна технічна система, надійність, небезпечний стан, пошкодження, відмова, механічні впливи, деформації, напруження.

Вступ та постановка проблеми. Сучасний рівень науково-технічного прогресу дозволяє створювати об'єкти, які наділені високою надійністю. Основою для цього служить комплекс заходів, що застосовуються на стадіях проектування, виготовлення, монтажу та експлуатації. Найбільш актуальною залишається проблема прогнозування та забезпечення технічного ресурсу складних технічних систем.

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 і системи в цілому. Таким чином, поведінка системи описується вектором значень характерних ознак з урахуванням впливу зовнішніх чинників на поведінку системи [1-3].

Найбільш універсальною характеристикою складної технічної системи є її надійність, тобто – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [4, 5].

В переважній більшості своїй сучасні технічні конструкції являють собою дуже складні технічні системи, що складаються з тисяч або навіть десятків тисяч елементів. Наслідком такої складності є їхня висока вартість, великі матеріальні витрати на їхнє проектування, виготовлення та експлуатацію [6, 7].

Створення таких систем вимагає створення і розвитку науково-методологічних основ теорії їхнього аналізу і синтезу, в основі яких закладено розробку сценаріїв виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Надійність, у тому числі довговічність і живучість, забезпечуються одночасним виконанням вимог, які висуваються до вибору матеріалів, конструктивних і об'ємно-планувальних рішень, до методів розрахунку, проектування та контролю якості робіт при виготовленні конструкцій, їх зведенні, а також дотриманням правил технічної експлуатації, нагляду і догляду [8-11].

З усіх існуючих методичних підходів аналізу складних систем, системний є найбільш близьким до проблеми аналізу закономірностей розвитку і будови технічних систем. Системний підхід є природним науковим методом, що базується на формальному виведенні і кількісній оцінці властивостей системи. Даний метод дозволяє визначити завдання, описати об'єкт за допомогою певних методик і, в підсумку, знайти рішення щодо поставленої задачі.

Складність технічних конструкцій визначається великим числом її можливих станів. У вартість включаються витрати на створення, виробництво і експлуатацію. Багатоцільовий характер складних технічних конструкцій призводить до необхідності характеризувати їхні властивості рядом показників, вимоги до яких нерідко виявляються суперечливими.

Для системи характерна множинність станів, що являється відображенням її динамізму, множинності варіантів розвитку. Чим різноманітніші можливі стани системи, тим складніше її поведінка [7, 11].

Виклад основного матеріалу. Характерним підходом в діагностиці складних технічних систем є розробка сценаріїв виникнення і розвитку небезпечних станів і відмов, що

характеризують перехід в часі t від штатних (нормальних) стадій функціонування складних систем до відмов та аварій[12].

На основі аналізу останніх досліджень щодо виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов [2-4 ,8 , 12], виділяємо три основні групи сценаріїв:

1) сценарії монотонних переходів, коли поточні параметри зовнішніх впливів, реакцій і станів систем монотонно змінюються (як правило, в небезпечну сторону) і безперервно нарастають ризики $R(t)$ до критичних значень $R_c(t)$ (див. рис.1, а, крива 1);

2) сценарії з різкими переходами (із загостренням), коли параметри збурюючих впливів або реакцій змінюються стрибкоподібно (майже миттєво) за короткі проміжки часу, викликаючи різке зростання ризиків $R(t)$ до критичних значень $R_c(t)$ (див. рис.1, а, крива 2);

3) сценарії з біфуркаційними (м'якими і жорсткими) переходами, коли в ряді нестійких станів систем можливі зміни зі складною траєкторією зміни ризиків від $R(t)$ до $R_c(t)$ (див. рис.1, б, крива 3).

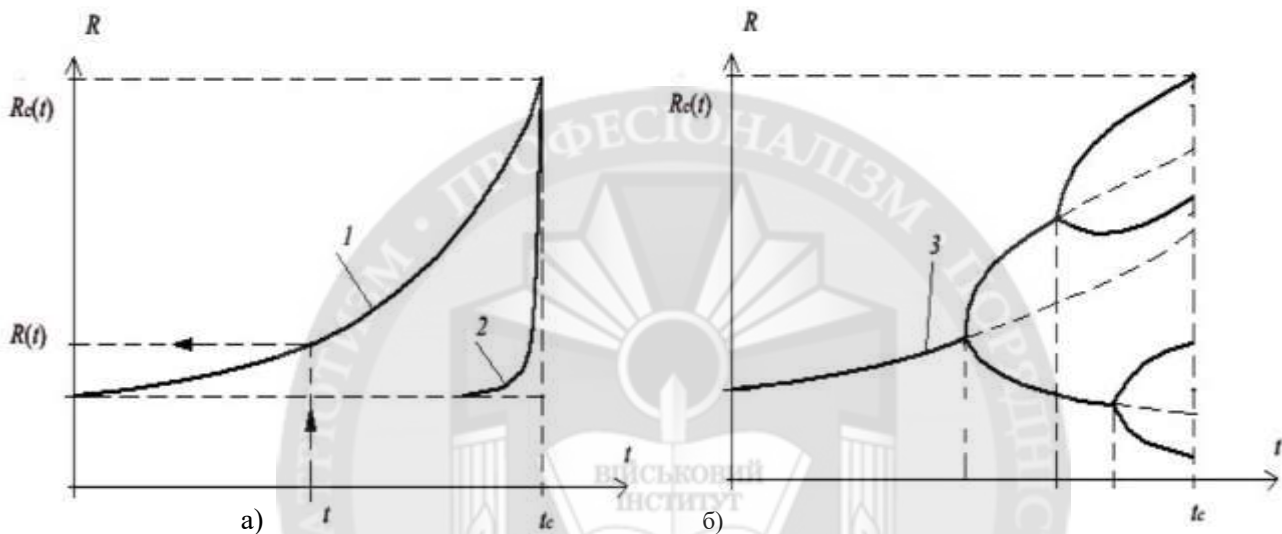


Рисунок 1 - Діаграма сценаріїв виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов

З точки зору забезпечення безпеки й надійності найбільш керованими і простими в управлінні є сценарії з монотонними переходами (див. рис.1, а, крива 1), а найбільш складними - сценарії з біфуркаційними переходами (див. рис.1, б, крива 3).

Наприклад, зростання інженерно-технічної складності систем, їхня енергетична насиченість, розгалуженість інформаційно - керуючих потоків веде до сценарію виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов третього типу (див. рис.1, б, крива 3).

За допомогою аналогічних діаграм можуть бути представлені і діагностичні параметри, і їхня можлива динаміка. Характер зміни діагностичного параметра визначає можливості систем автоматичного захисту запобігти аваріям і можливі наступні техногенні катастрофи на небезпечних виробничих об'єктах.

Складна технічна система при відмові окремих елементів і навіть цілих підсистем не завжди втрачає працездатність, часто тільки знижуються характеристики її ефективності. Це властивість великих складних технічних конструкцій. Виходячи з вище сказаного, при можливості виникнення аварії за сценарієм «зриву» або біфуркації слід вводити діагностичні параметри, які б оцінювали ті чинники, які проявляються на стадії зародження передумови до переходу на новий режим функціонування або дозволяють оцінити ймовірність такого переходу. Таким чином, попередження небезпечних процесів може бути ефективним лише при можливості існування своєчасної та об'єктивної оцінки систем і процесів та прогнозування їх майбутнього стану.

Для якісного дослідження технічного стану складні системи повинні бути розділені на підсистеми (комплекси) і елементи (вузли). У складі підсистем можуть розглядатися

конструктивно і функціонально завершені складові частини системи, взаємодія яких забезпечує досягнення поставленої мети при виконанні запланованої завдання. Як елементи в розгляд включаються складові частини, які є результатом деякого розподілу конструкції системи без дотримання принципів конструктивної і функціональної завершеності складових частин. Кожен елемент системи пов'язаний з іншими елементами певним чином, а ідентичні елементи можуть мати різні характеристики в різних системах. Тому, перш за все, необхідно виявити взаємозв'язки і провести її структурний аналіз. Отримана таким чином інформація може надаватися у вигляді різних схем, креслень, технічних описів, карт логічних переходів і т.д.

Для складних технічних системи характерні складні нелінійні взаємодії між які входять до їх складу елементами, складні ланцюжки (сценарії) причинно-наслідкових зв'язків між небезпечними подіями і процесами, що відбуваються впродовж експлуатації і носять імовірнісний характер.

У процесі функціонування складні технічні конструкції піддаються безперервним впливам з постійним погіршенням їхнього технічного стану. Це обумовлено результатом впливу технологічних і зовнішніх експлуатаційних навантажень і ряду факторів навколишнього середовища, які носять випадковий характер [7-9].

Дані впливи ведуть до виникнення і накопичення в елементах технічних конструкцій різних видів пошкоджень $d(\tau)$ (знос, втома, фізичне старіння, поява тріщин і ін.). Досягнувши критичного рівня, накопичені в результаті процесу експлуатації пошкодження призводять до порушення працездатного стану обладнання, спрацювання та вичерпування ресурсу, і як наслідок, до надзвичайних ситуацій (відмов, аварій та катастроф).

Вплив – будь-яка причина, в результаті якої в конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану.

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), як правило, враховуються в розрахунку опосередковано.

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).

Аварії, для яких проектом передбачено спеціальні засоби активного управління і захисту, називаються проектними аваріями (ПА), їх перелік і основні параметри (пожежне навантаження, сила вибуху, рівень затоплення при повені тощо) визначаються спеціальними нормами на підставі зіставлення можливих соціальних втрат і матеріальних збитків із необхідними для їх запобігання засобами.

Окрім параметрів проектної аварії - ПА, для конкретного об'єкта слід встановити параметри максимально можливої в умовах існування об'єкта природної і (або) техногенної катастрофи (максимально можливої катастрофи - ММК). Методи визначення ММК та її параметрів також встановлюються спеціальними нормами.

Дозволяється приймати параметри максимально можливої катастрофи - ММК, виходячи з імовірності їх виникнення у 100 разів меншої ніж прийнята ймовірність виникнення ПА.

$$P(\text{ММК}) \leq 0,01 P(\text{ПА}), \quad (1)$$

де:

$P(\text{ММК})$ – параметр максимально можливої катастрофи - ММК;

$P(\text{ПА})$ – параметр проектної аварії – ПА.

При розробленні спеціальних норм і визначенні параметрів ПА і ММК слід розглядати явища, які можуть бути викликані наступними вихідними подіями:

- катастрофічними перевищеннями інтенсивності природних впливів рівня, встановленого чинними нормами для району будівництва;
- техногенними катастрофами (аваріями транспортних засобів, вибухами, пожежами, витіканням розплавленого металу тощо), які відбуваються в межах об'єкта або в його найближчому оточенні;
- грубими помилками персоналу на стадіях проектування, зведення або експлуатації об'єкта;
- серйозним браком або різкою невідповідністю характеристик будівельних матеріалів і виробів, елементів устаткування вимогам нормативно-технічної документації.

При розгляді і класифікації причин ПА і ММК необхідно враховувати також вплив вторинних факторів (вибухів, виникнення пожеж, руйнувань захисних перешкод, ударів від падіння елементів тощо), причиною яких була первісна аварія. Рекомендується розробляти і аналізувати сценарії розвитку аварій.

Розрахунок характеристик пошкодження і надійності конструктивних елементів і вузлів складних технічних систем, як правило, заснований на статистичних і детермінованих моделях, які не враховують зміни напружено-деформованого стану і властивостей матеріалу, а також кінетики пошкодження деталей та елементів систем у часі τ . Більшість процесів накопичення пошкоджень $d(\tau)$ відбувається протягом тривалих проміжків часу при багатопараметричних впливах.

Введення фактора часу τ в аналіз пошкодження $d(\tau)$ конструкцій можливо на основі кінетичних уявлень про процес накопичення в матеріалі конструкції незворотних пошкоджень механічного, фізичного і хімічного походження з урахуванням сценаріїв багатфакторних статичних, циклічних і динамічних впливів робочих процесів і навколишнього середовища. Основою вирішення даного завдання є розробка методів аналізу, розрахунку та прогнозу граничних станів окремих окремих елементів та системи в цілому, а також розробка кваліметрії пошкоджень - методів технічної діагностики, що дозволяють проводити чисельну оцінку ступеня пошкодження деталей, різних за своєю природою і характером [9].

Висновки та перспектива подальших досліджень. В основі теорії надійності та системного аналізу складних технічних конструкцій є розгляд сценаріїв виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов.

З підвищенням рівня зростання інженерно-технічної складності завдяки енергетичній насиченості, розгалуженості інформаційно - керуючих потоків систем тощо, збільшується вірогідність розвитку сценарію виникнення небезпечних станів та відмов третього типу.

Описані сценарії виникнення та розвитку небезпечних станів та відмов передбачають ведення історії експлуатації об'єкта, моніторинг діагностичних параметрів, передачу отриманих даних, їх обробку і інтерпретацію.

За допомогою аналогічних діаграм можуть бути представлені і діагностичні параметри, і їхня можлива динаміка. Характер зміни діагностичного параметра визначає можливості систем автоматичного захисту запобігти аваріям і можливі наступні техногенні катастрофи на небезпечних виробничих об'єктах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ 2470-94. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення / Держстандарт України. К.: 1994. - 24 с.
2. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення / Держстандарт України. К.: 1994. - 38с.
3. 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. - 80с.
4. Надежность и эффективность в технике. Т.8 / Под ред. В.И.Кузнецова, Е.Ю.Барзиловича.М.:

Машиностроение, 1990.

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

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

7. 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).

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

9. L.V.Kuzmich, Y.S.Tsekhmaystruk. Modern state of mechanical deformation measurement of complex technical systems [electronic resource] / Materials of the XIII international scientific and technical conference "AVIA - 2017". - Mode of access to the site: <http://avia.nau.edu.ua/avia2017/>.

10. V.Babich, V.Dovbenko, L.Kuzmich, T.Dovbenko. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National Ukrainian & European standards. MATEC Web of Conferences Volume 116, 10 July 2017, Article number 02005.

11. Avyrom L.S. Design reliability of prefabricated buildings and structures. - L.: Publishing house on construction, 2001. - 215 p.

12. Кузьмич Л.В. Аналіз напружено – деформованого стану складних конструкцій в штатних і аварійних ситуаціях / Л.В.Кузьмич. Вісник інженерної академії України. 2017. №3. С.154-157.

REFERENCES:

1. DSTU 2470-94. Nadiinist tekhniky. Systemy tekhnolohichni Terminy ta vyznachennia / Derzhstandart Ukrainy. K.: 1994. -24 s.

2. DSTU 2861-94. Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia / Derzhstandart Ukrainy. K.: 1994. -38s.

3. DSTU-NBV.1.2-13-2008. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Nastanova. Osnovy proektuvannia konstrukttsii (EN 1990:2002, IDN)/ Minrehionbud Ukrainy. K.: 2009. -80s.

4. Nadezhnost y effektivnost v tekhnike. T.8 / Pod red. V.Y.Kuznetsova, E.Iu.Barzilovycha.M.: Mashynostroenye, 1990.

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

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

7. 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).

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

9. L.V.Kuzmich, Y.S.Tsekhmaystruk. Modern state of mechanical deformation measurement of complex technical systems [electronic resource] / Materials of the XIII international scientific and technical conference "AVIA - 2017". - Mode of access to the site: <http://avia.nau.edu.ua/avia2017/>.

10. V.Babich, V.Dovbenko, L.Kuzmich, T.Dovbenko. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National Ukrainian & European standards. MATEC Web of Conferences Volume 116, 10 July 2017, Article number 02005.

11. Avyrom L.S. Design reliability of prefabricated buildings and structures. - L.: Publishing house on construction, 2001. - 215 p.

12. Kuzmich L.V. Analiz napruzhenno – deformovanoho stanu skladnykh konstrukttsii v shtatnykh i avariinykh sytuatsiiakh / L.V.Kuzmich // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. 2017. №3. S.154-157.

Рецензент: д.т.н., проф. Древецький В.В., завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та компютерно – інтегрованих технологій, Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне

к.т.н., доц. Кузьмич Л.В.

СЦЕНАРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются возможные сценарии возникновения и развития опасных состояний и отказов сложных технических систем на основе теории надежности, теории множеств и системного анализа. Осуществлен анализ опасных состояний и отказов элементов технических конструкций, а также различного рода воздействий, приводящих к возникновению и накопления повреждений и отказов.

Ключевые слова: сложная техническая система, надежность, опасное состояние, повреждения, отказ, механические воздействия, деформации, напряжения.

Ph.D. Kuzmych L.V.

SCENARIOS OF DEVELOPMENT OF DANGEROUS CONDITIONS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

The article deals with possible scenarios for the emergence and development of dangerous states and failures of complex technical systems based on the theory of reliability theory and system analysis. The analysis of dangerous states and failures of elements of technical constructions, as well as various kinds of influences, which lead to the occurrence and accumulation of damages and failures is carried out.

The introduction of state monitoring and technical diagnostics systems is intended to increase the level of safety of the technical system, reduce the level of uncertainty regarding the current state of complex technical systems, identify in a timely manner the dangerous states of structural elements and equipment of complex technical systems and make informed decisions on repair or reconstruction. The basis of the theory of reliability and system analysis of complex technical constructions is the consideration of scenarios for the emergence and development of hazardous states and failures. With an increase in the level of engineering and technical complexity due to energy saturation, branching of information-controlling system flows, etc., the probability of developing a scenario of emergence of dangerous states and failures of the third type increases. Described scenarios of the emergence and development of dangerous states and failures include maintaining the history of the operation of the facility, monitoring of diagnostic parameters, transmission of received data, their processing and interpretation. With the help of similar diagrams, diagnostic parameters and their possible dynamics can be presented. The nature of the change of the diagnostic parameter determines the possibilities of automatic protection systems to prevent accidents and possible subsequent man-made disasters in dangerous production facilities.

Key words: complex technical system, reliability, dangerous state, damage, failure, mechanical influences, deformations, stresses.