

УДК 355.53

А.В. Тристан¹, Т.М. Курцева¹, В.Г. Паталаха²¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ РУЙНУВАННЯ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

На основі обраних моделей та математичного апарату формалізації та дослідження (аналізу) складних систем, проводиться розробка моделі, удосконалюється сукупність показників та критеріїв руйнування складних систем. Руйнування у роботі розглядається не в контексті фізичного знищення або порушення, а не здатності досягати системою цілей свого функціонування. На відміну від існуючих підходів до моделей руйнування складних систем, розглядається як структурна модель, так і функціональна модель руйнування, що властива саме складній організаційно-технічній системі (СОТС). Досліджується питання живучості та стійкості складних організаційно-технічних систем, до яких відносяться системи військового призначення.

Ключові слова: графова модель, руйнування, складна організаційно-технічна система (СОТС), системний аналіз, структурна модель, функціональна модель.

Вступ

Постановка проблеми. Система (від гр. *συστήμα* – «сполучення», «ціле», «з'єднання») – множина взаємопов'язаних елементів, що взаємодіє з середовищем, як єдине ціле і відокремлена від нього. Система в широкому змісті розуміється як динамічно змінюема сукупність зв'язаних об'єктів, що має властивості організації, зв'язаності, цілісності, роздільності.

Структурою системи є побудова і внутрішня форма організації системи, що виступає як єдність сталих взаємозв'язків між її елементами, а також законів цих взаємозв'язків [8]. Зі структурою системи пов'язані такі її властивості як:

- цілісність як первинність цілого по відношенню до її складових частин;
- не адитивності – неможливість зведення суми властивостей елементів до властивості цілої системи;
- структурності як здатність проводити декомпозицію системи (а також підсистем та елементів системи) та встановлювати зв'язки між ними (дана властивість дозволяє формалізувати систему у вигляді графових структур);
- ієрархічності як здатність розглядати кожен елемент системи як нову систему (дана властивість дозволяє формалізувати систему у вигляді передфракціальних та фрактальних структур).

Як показав аналіз, всеохоплюючий характер поняття «система» є основною причиною відсутності сталого поняття «складна система» [9].

Ряд дослідників вважають [10], що складна система – це система, що не має єдиної мети функціонування, а її мета існує у багатокритеріальному просторі, причому ряд критеріїв може виступати в якості обмежень.

З точки зору даного підходу до визначення поняття складної системи система управління Пові-

тряних Сил є складною системою, оскільки цілі його функціонування (ведення бойових дій) є багатомірним критеріальним простором.

В ході ведення бойових дій складна організаційно-технічна система може руйнуватися через зовнішні та внутрішні впливи, що мають різну інтенсивність. Дане руйнування розглядається не в контексті фізичного знищення елементів системи, а не здатності складної системи досягати цілей функціонування. Для технічної системи дане руйнування пов'язане зі структурною складовою (порушення зв'язків), а для складної організаційно-технічної системи також і з функціональним руйнуванням. Таким чином, виникає проблема побудови комплексної моделі руйнування організаційно – технічної системи, що враховує як структурне, так і функціональне руйнування системи.

Мета статті. Ввести показники та критерії руйнування складної системи. Розробити комплексну модель руйнування складної організаційно – технічної системи, що враховує як структурне, так і функціональне руйнування.

Аналіз літературних джерел. Питанню руйнування складних систем присвячено ряд досліджень, що об'єднуються у теорію катастроф [1]. В той же час, в даних роботах основою для досліджень обрані технічні системи та їх структурне руйнування. Організаційно-технічні системи та їх стійкість досліджується у роботах [2–3]. Дана стаття є продовженням досліджень щодо оцінки структурної стійкості та руйнування складної системи, що проведено автором в роботах [4–6].

Викладення основного матеріалу

Показники та критерії структурного руйнування СОТС.

Зміни структури системи можуть бути разовими, а можуть бути постійними (періодичними, регулярними). Для другого випадку, який зустрічається на практиці функціонування складної організаційно-технічної системи доцільно ввести поняття структурної динаміки – властивість системи змінювати власну структуру у часі, які не зменшують її функціональність, та які зменшують (лишають) функціональність системи за призначенням.

Структурні зміни в складних системах можуть мати як позитивний характер (підвищення ефективності функціонування системи за рахунок структурних змін), так і негативні зміни, коли за рахунок зміни структури складна система знижує свою ефективність. Ситуація, коли складна система буде нездатна досягати мети функціонування будемо називати ситуацією руйнування. Структурне руйнування складної системи – це руйнування, обумовлене зміною її структури (поняття структури вводилося в першому розділі дисертаційної роботи). Відразу зауважимо, що руйнування складної організаційно – технічної системи не завжди є незворотнім процесом, існує можливість відновлення її функціональності за умови витрати часу τ та ресурсу r .

Основною задачею моделювання структурного руйнування складної системи є визначення умов, за яких система може перейти в критичний стан. Початкові причини руйнування системи можуть бути як внутрішні, так і зовнішні. Перехід системи в критичний стан означає, що в ній з'явилися ознаки структурного руйнування, але це не значить у загальному випадку, що вона остаточно припинила функціонувати. Систему можна вважати зруйнованою тільки в тому випадку, коли зміни, що відбулися в її структурі, будуть задовольняти критеріям структурного руйнування. Тому однією з основних характеристик у моделі структурного руйнування є показник часу структурного руйнування – $T_{ст.р.}$, що відображає тривалість самого процесу від початку до завершення даного виду руйнування.

Розглядаючи даний показник, слід зауважити, що система, яка перейшла в критичний стан та почала руйнуватися за структурною ознакою, не завжди руйнується (перестає досягати цілей функціонування). В даному випадку йдеться мова про наближення значення показника $T_{ст.р.} \rightarrow \infty$. Для військової СОТС, яка в процесі ведення бойових дій знаходиться в процесі руйнування значення даного часу меншим за ведення бойових дій свідчить про здатність системи досягти цілей функціонування.

Оскільки у теоретико-графовому підході до формалізації складної системи структура системи виглядає у вигляді графу (кількість вершин графу – V ; кількість ребер графу – E), то показниками структурного руйнування буде:

кількість вершин, що видалені зі структури як функцію часу $v_p(t)$, $t \leq T_{ст.р.}$, $v_p \subseteq V$;

– кількість ребер, що видалені зі структури як функцію часу: $e_p(t)$, $t \leq T_{ст.р.}$, $e_p \subseteq E$;

– поточне завантаження вершини графа $w(v)$, $v \subseteq V$

– критичне завантаження (за яким настає руйнування) вершини графа $w_p(v)$, $v \subseteq V$.

– поточне завантаження ребра графа $w(e)$, $e \subseteq E$.

– критичне завантаження (за яким настає руйнування) ребра графа $w_p(e)$, $e \subseteq E$.

З метою побудови моделі структурного руйнування складної системи вводяться критерії руйнування:

1) критерій повного вершинного руйнування $\sigma_0(v_p)$. Складна система зруйнована, якщо з графу будуть видалені всі вершини. Даний критерій залежить від одного параметру v_p – кількості видалених вершин та застосовується за умови $|v_p| = |V|$.

2) критерій часткового вершинного руйнування $\sigma_1(v_p, N_p^v)$. Складна система зруйнована, якщо з графу буде видалено число вершин не менше заданого N_p^v . Даний критерій залежить від двох параметрів v_p – кількості видалених вершин, заданого числа видалених вершин N_p^v та застосовується за умови $|v_p| < N_p^v$. При $N_p^v = |V|$ критерій часткового вершинного руйнування співпадає з критерієм повного вершинного руйнування.

3) критерій повного реберного руйнування $\sigma_2(e_p)$. Складна система зруйнована, якщо з графу будуть видалені всі ребра. Даний критерій залежить від одного параметру e_p – кількості видалених ребер та застосовується за умови $|e_p| = |E|$.

4) критерій часткового реберного руйнування $\sigma_3(e_p, N_p^e)$. Складна система зруйнована, якщо з графу будуть видалено число ребер не менше заданого N_p^e . Даний критерій залежить від двох параметрів e_p – кількості видалених ребер, заданого числа видалених ребер N_p^e та застосовується за умови $|e_p| < N_p^e$. При $N_p^e = |E|$ критерій часткового реберного руйнування співпадає з критерієм повного реберного руйнування.

5) критерій зв'язаності $\sigma_4(v_p)$. Складна система зруйнована, якщо порушена її зв'язаність при видаленні вершин. Критерій залежить від одного

параметру v_p – кількості видалених вершин, що призводить до втрати зв'язаності графу.

б) компонентний критерій $\sigma_5(v_p, m)$. Складна система зруйнована, якщо число компонент графа в її структурі буде не менше за m . Компонентний критерій залежить від двох параметрів – числа видалених вершин v_p та числа компонент, на які розпадається складна система. При $m = 1$ даний критерій співпадає з критерієм зв'язаності

7) діаметральний критерій $\sigma_6(v_p, D)$. Складна система зруйнована, якщо діаметр хоча б однієї з компонент структури системи в процесі руйнування буде меншим за задане число D . Діаметральний критерій залежить від двох параметрів – числа видалених вершин v_p та D – мінімально допустимого значення діаметру компоненти структури при її руйнуванні – D . Застосування даного критерію пов'язане з поняттям діаметру графа.

Множина $G(v, e, t)$, вершин, ребер видалених зі структури складної системи в момент часу t будемо називати в епіцентрами структурного руйнування. Вочевидь, що для критеріїв $\sigma_0 - \sigma_3$ аргумент чисельно дорівнює числу епіцентрів структурного руйнування.

Показники та критерії функціонального руйнування СОТС.

Функціональне руйнування на відміну від структурного не пов'язане зі зміною структури складної системи, тим не менш воно є властивим для організаційно-технічних систем. На відміну від технічних систем, для яких видалення вершини чи ребра зі структури є ознакою руйнування за певним критерієм, що були розкриті у попередньому підрозділі, для організаційно-технічних систем ознакою руйнування є не здатність виконувати функціональне призначення з заданою ефективністю.

Якщо критерії структурного руйнування були розглянуті з позиції теоретико-графового підходу до формалізації складної системи, то критерії функціонального руйнування повинні спиратися на формалізацію за допомогою методології «вузол» – «функція» – «об'єкт» (ВФО) [7].

Як і для структурного руйнування, важливим показником функціонального руйнування є час $T_{ф.р.}$, що відображає час всього процесу руйнування.

До часових показників відноситься також:

– час функціонального перетворення $t_{роб}$;

– час функціонування вузла $t_{функ.}$

До функціональних показників відноситься:

– кількість функцій, що виконується вузлом у даний час $N_{ф}(v, t)$;

– множина споріднених функцій, що можуть виконуватися за потреби даним вузлом.

Показники вхідного інформаційного потоку.

Інтенсивність інформаційного потоку, що надходить у вузол v за час t для його функціонального перетворення: $\epsilon_v(t)$.

Міра невизначеності інформаційного потоку, що надходить у вузол v за час t : $\mu_v(t)$. Вважаємо, що вузол складної організаційно-технічної системи, виконуючи функції за призначенням зменшує невизначеність вхідної інформації до деякого рівня, перетворена інформації (зі зменшеною невизначеністю) передається споживачу (наступному вузлу).

Цінність інформації для досягнення мети функціонування складної системи, що надходить у вузол v за час t : $\omega_v(t)$.

Під цінністю інформації в даному дослідженні розуміється міра впливу даної інформації на кінцеву ефективність функціонування складної системи.

Показники вихідного інформаційного потоку:

Інтенсивність вихідного інформаційного потоку, що виходить з вузла v за час t : $\epsilon'_v(t)$.

Міра невизначеності інформаційного потоку, що виходить з вузла v за час t : $\mu'_v(t)$.

Цінність інформації для досягнення мети функціонування складної системи, що виходить з вузла v за час t : $\omega'_v(t)$.

Виходячи з даних показників, з метою побудови моделі функціонального руйнування складної системи введемо критерії функціонального руйнування складної системи.

1) критерій функціонального перетворення $\sigma_7(f, N)$. Складна система вважається зруйнованою, коли кількість функцій, що виконується вузлами системи стає менше за задану кількість функцій N . Даний критерій залежить від двох параметрів – кількості функцій, що виконується вузлами $f \leq N_{ф}$ та мінімальною кількістю функцій. В загальному випадку кількість функцій може бути більшою, ніж кількість вузлів у структурі системи.

2) критичність функцій $\sigma_8(f, \{F\})$. Складна система вважається зруйнованою, коли набір функцій, що виконується системою не відповідає критичному набору функцій системи $\{F\}$, під яким розуміється мінімальний набір функцій, виконання яких веде до

3) критерій інтенсивності $\sigma_9(\epsilon, t)$. Складна система вважається зруйнованою на час t , коли вхідна інтенсивність потоку інформації до системи перевищує максимально можливий рівень;

4) критерій невизначеності $\sigma_{10}(\mu', t)$. Складна система вважається зруйнованою на час t , коли ви-

хідна невизначеність потоку інформації з системи перевищує максимально можливий рівень;

5) критерій цінності $\sigma_{11}(\omega', t)$. Складна система вважається зруйнованою на час t , коли вихідна цінність потоку інформації з системи менше за мінімально можливий рівень.

Зауважимо, що введені критерії функціонального руйнування складної системи у відповідності з методологією ВФО властиві і окремим вузлам складної системи.

Комплексна модель руйнування СОТС.

Комплексність даної моделі полягає у одночасному застосуванні як показників та критеріїв структурного, так і функціонального руйнування. Така модель дозволить дослідити критичність вузлів системи як на структурному, так і функціональному рівні, а також провести синтез раціональних структур складних систем за функціональними ознаками стійкості до руйнування.

Позначимо через $G=(V,E)$ граф, що відповідає структурі СОТС. Кожна вершина та ребро описується показниками $w(v)$, $w(e)$, $w_p(v)$ та $w_p(e)$.

Критерій повного вершинного σ_0 та реберного σ_2 руйнування як для структурного, так і для функціонального руйнування тотожний. Руйнування всіх вузлів (ребер) на структурному рівні також призводить до руйнування складної системи і на функціональному. Відносно критерію σ_1 та σ_3 у випадку, коли поточне навантаження:

$$w(v) > w_p(v), \quad (1)$$

то вершини видаляються зі складної системи, а їх навантаження розподіляється по сусіднім елементам системи, як це приведено на рис. 1.

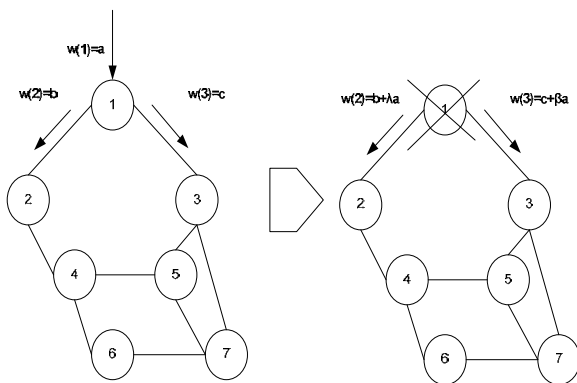


Рис. 1. Пояснення щодо перерозподілу навантаження при видаленні вузла зі СОТС

На рис. 1 коефіцієнти α та β є коефіцієнтами, що в загальному випадку описують розподіл навантаження видаленого вузла на суміжні вузли. При цьому виконується рівність $\alpha+\beta=1$. З позиції функціонального руйнування, якщо вузол не підтримує

функцію видаленого вузла, то його коефіцієнт дорівнює нулю. Якщо жоден суміжний вузол не здатен виконувати функцію, яку виконувала видалений вузол, то дана функція виводиться з переліку функцій складної системи, а сама система перевіряється на руйнування за критерієм σ_7 та σ_8 .

У випадку виконання нерівності:

$$w(e) > w_p(e) \quad (2)$$

зі складної системи видаляється ребро, а його навантаження перерозподіляється по іншим ребрам, як це показано на рис. 2.

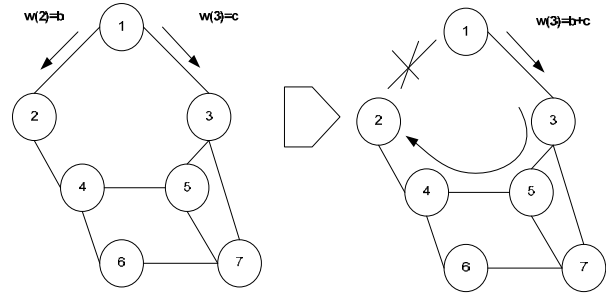


Рис. 2. Пояснення щодо перерозподілу навантаження при видаленні ребра зі складної системи

Однак з позиції функціонального руйнування, навантаження, яке повинно прийти на другий елемент, досягне його через 3-5-4 елементи, як показано праворуч на рис. 2. При цьому, якщо навантаження розглядати з позиції інформації, яка циркулює в складній системі, то за умови відсутності функцій – перетворення даної інформації у проміжних вузлах, невизначеність інформації при досягненні другого вузла зростає.

Оскільки мова йде про СОТС, то вузол (за умови відсутності фізичного знищення) не перестане виконувати покладені на нього функції через збільшення завантаження, але невизначеність інформації при її обробці зростає, як це показано на рис. 3.

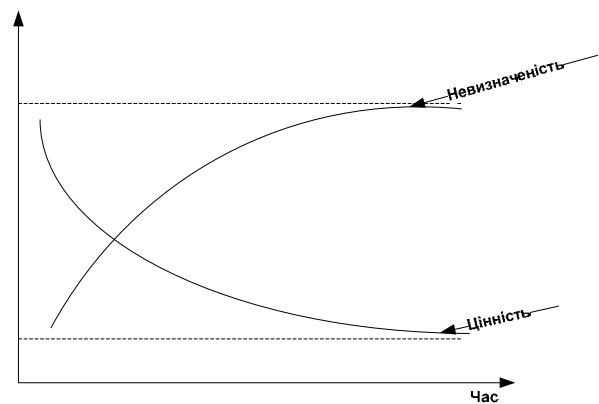


Рис. 3. Пояснення щодо збільшення невизначеності інформації та зменшення цінності для ефективного функціонування складної системи за умови збільшення інтенсивності впливу

Руйнування структури складної системи за критерієм зв'язаності не завжди призводить до руйнування системи за функціональним критерієм. Так при відбитті ударів повітряного противника система ЗРАП може втратити управління та стати незв'язаною, однак це не завадить їй виконати завдання у режимі самостійного ведення бойових дій.

Руйнування структури складної системи за компонентним та діаметральними критеріями не завжди призводить до одночасного руйнування її за функціональними критеріями, оскільки існує можливість функціонування складної системи у вигляді сукупності компонент. При цьому ефективність функціонування буде меншим за прогнозовану ефективність функціонування складної системи, але мета функціонування може бути досягнута.

Висновок

Таким чином, в статті розкрито основні положення комплексної моделі руйнування складної організаційно – технічної системи. Застосування даної моделі приводить до зростання адекватності опису процесу руйнування складної системи. Побудова даної моделі є основою для створення методу визначення критичних точок складної організаційно-технічної системи, що дозволяє для заданого часу на основі розпізнавання замислу дій противника визначати елементи складної організаційно-технічної системи, які впливають на структурну і функціональну її стійкість.

Список літератури

1. Касті Дж. Большие системы, связность, сложность и катастрофы: пер. с англ. Ю.П. Гупало / Джон Касті. – М.: Мир, 1982. – 216 с.

2. Горелова Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

3. Гиг Джон Ван. Прикладная общая теория систем: пер с англ. / Гиг Джон Ван. – М.: Мир, 1981. – 336 с.

4. Тристан А.В. До питання використання методу аналізу зв'язності структури складних систем для розв'язування задач планування вогневого ураження об'єктів противника / С.В. Немченко, А.В. Тристан, Ю.Г. Бусигін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 8(98). – С. 102-105.

5. Тристан А.В. Застосування аналізу когнітивних моделей складних систем в комплексі задач планування вогневого ураження системи підтримки прийняття рішення / С. В. Немченко, А. В. Тристан // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 5. – С. 53-56.

6. Методика структурного аналізу і оцінки розрушення складних систем / А.В. Тристан, О.А. Заболотный, В.В. Гридина, В.Г. Паталаха // Республика Казахстан, Уральск. Уральский научный вестник – 2015. – № 5 (136). – С. 77-81.

7. Маторин С.И. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология [Текст] / С.И. Маторин; предисл. Э.В. Попова. – Х.: ХНУРЕ, 2002. – 322 с.

8. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. 7-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Лопатников. – М.: Дело, 2013. – 520 с.

9. Neil, F. Johnson (2007). Two's Company, Three is Complexity. A simple guide to the Science of all Sciences. Oxford: Oneword Publications. – 236 с.

10. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растринин. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.

Надійшла до редколегії 7.10.2016

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Є.Б. Смірнов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Тристан, Т.М. Курцева, В.Г. Паталаха

Основываясь на выбранных моделях и математическом аппарате формализации и исследования сложных систем, выполняется разработка модели, совершенствуются показатели и критерии разрушения сложных систем. Разрушение в работе рассматривается не в контексте физического уничтожения, а не способности системы достигать целей своего функционирования. В отличие от существующих подходов к моделям разрушения сложных систем в комплексной модели рассматривается как структурная, так и функциональная модель разрушения, которая характерна именно организационно-технической системе. Исследуются вопросы живучести и устойчивости организационно-технических систем, к которым относятся системы военного назначения.

Ключевые слова: графовая модель, разрушение, сложная организационно-техническая система (COTC), системный анализ, структурная модель, функциональная модель.

THE COMPLEX DESTRUCTION MODEL OF COMPLEX ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

A.V. Tristan, T.M. Kurceva, V.G. Patalakha

Based on the selected models and the mathematical methods of formalization and the study of complex systems model was developed and indicators and criteria were improved. The destruction is not considered in the context of physical destruction, not the system's ability to achieve the goals of its functioning. In contrast to existing approaches to models of complex fracture systems in a comprehensive model that considers both structural and functional model of destruction, which are specific organizational-technical systems. The questions of survivability and sustainability have been investigated.

Keywords: graph model, destruction, difficult technical-organizational system, system analysis, structural model, functional model.