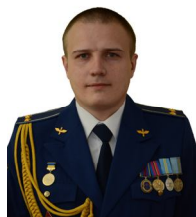


УДК 351.746.1005.94:005.931.13



А. В. Тристан



А. О. Бережний



О. М. Гурін

ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ СТІЙКОСТІ СТРУКТУРИ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Організаційно-технічні системи – це особливий клас керованих відкритих складних, як правило, нелінійних систем, у яких сполучаються два фактори: людський (організаційний) і технічний (технологічний). Вирішення завдань контролю, аналізу, прогнозування та управління такими системами має значну складність, що потребує створення відповідних систем підтримки прийняття рішень (СППР). У цих системах повинні бути поєднані статистичні методи аналізу та прогнозування, методи математичного й імітаційного моделювання, елементи експертних систем. Базою для вирішення визначених завдань є ядро СППР, що дозволяє надавати пропозиції щодо визначення критичних точок складної організаційно-технічної системи (СОТС), розпізнавати поведінку оточуючого середовища, надавати рекомендації щодо відновлення системи. У статті вдосконалено теоретико-графовий метод для аналізу структури СОТС. Основним результатом дослідження є математичні моделі деградації СОТС у теоретико-графовій постановці та метод аналізу стійкості структури СОТС. Запропонована математична модель розповсюдження зовнішніх впливів по системі дозволяє дослідити зміну стійкості всієї системи залежно від виду, типу і місця впливу. Доведено, що контури у структурі системи є генератором внутрішніх впливів, модель (на відміну від відомої математичної моделі технічної системи) враховує процес відновлення вершини (за рахунок організаційної компоненти) та компенсаторів впливу.

Ключові слова: надійність, модель, теоретико-графовий підхід, стійкість, складна організаційно-технічна система.

Постановка проблеми. У теорії систем визначено [1], що кожний елемент системи робить певні дії, які дозволяють усій системі виконувати покладені на неї функції. Особливе значення для системи має порядок зв'язків її елементів, тобто порядок взаємодії елементів системи у процесі її функціонування. Факт безпосередньої взаємодії між двома елементами системи й визначає наявність зв'язку між ними. На початковому етапі аналізу елементи системи доцільно подавати у вигляді вершин графа [2], наділених певними властивостями, а взаємодію описувати за допомогою ребер.

З погляду процесів деградації та відновлення [3] будь-яку СОТС слід досліджувати з двох основних позицій: надійності та живучості системи. Дослідження цих властивостей дає змогу збільшити стійкість системи. Детерміністична модель живучості системи лежить в основі механіки катастроф [4]. Об'єктом дослідження механіки катастроф є системи, що мають постійні

зовнішні впливи, тобто досліджуються процеси накопичення впливів, досягнення граничного (критичного) стану. Особливе місце у механіці катастроф займає вивчення процесу закритичної поведінки елементів складних систем, що приводить до припинення їх функціонування. Елементи складних організаційно-технічних систем у своїй закритичній області виходять із ладу, впливають на інші елементи системи, породжуючи тим самим внутрішні для самої конструкції (системи) негативні впливи. Зовнішні та внутрішні впливи спричиняють послідовність відмов елементів системи, що ініціює деградацію системи.

Таким чином, аналіз надійності та живучості СОТС дозволяє ввести поняття стійкості як здатності протистояти зовнішнім впливам у докритичній області функціонування системи. Інакше кажучи, стійкість – це живучість системи у докритичній області функціонування. Тому основною характеристикою стійкості системи

є час досягнення системою граничного стану, що передує її деградації.

Розробка методу аналізу структури СОТС дала змогу обґрунтувати рекомендації щодо синтезу СОТС, стійких до зовнішніх впливів.

Мета статті – розробити теоретико-графовий метод аналізу стійкості структури складних організаційно-технічних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стаття є продовженням праць з дослідження процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем [3, 5, 6, 7], а також праць з аналізу стійкості складних систем [8].

Виклад основного матеріалу. Зовнішній уражаючий вплив на один з елементів системи обов'язково відібується деяким чином на показнику надійності елементів і стійкості всієї системи. Це відбувається навіть у тому випадку, коли ані елемент, що безпосередньо одержав уражаючий імпульс впливу, ані сама система не втратили функціональності. Можливі випадки, коли крім елемента системи, що одержав безпосередній вплив, припиняють функціонувати й елементи системи, які не отримали безпосередній вплив, але пов'язані із цим елементом.

Структура військових СОТС на сьогодні являє собою жорстку ієрархічну конструкцію, яка дозволяє зовнішньому впливу розповсюджуватися за всією структурою системи. При цьому імпульс впливу зменшує як показник надійності окремих елементів системи, так і стійкість усієї системи в цілому. Для побудови математичної моделі використаємо апарат дискретної математики і теорії графів [2].

Підвищення стійкості систем та надійності їх елементів неможливе шляхом дублювання всіх елементів системи. Тому дослідимо реакцію системи на зовнішні впливи, знайдемо найбільш уразливі елементи системи та запропонуємо рекомендації щодо резервування (додаткового захисту). Для цього визначимо точний метод формального подання системи, зовнішнього впливу та динаміки його поширення по СОТС.

Поширення впливу від одного елемента СОТС до іншого задамо на графі системи орієнтованим ребром, який не матиме петель.

Надійністю елемента СОТС будемо вважати ймовірність $P(t < T)$ того, що елемент системи виконуватиме свої функції протягом часу T з початку зовнішнього впливу. Однак

урахування лише надійності елементів СОТС у вигляді вагових коефіцієнтів недостатньо для повного формального подання системи. Вплив при проходженні від одного елемента до іншого втрачає свою силу. Надійність елемента системи та частку зменшення впливу при переході від одного елемента до іншого можна одержати експериментально або при експертному аналізі [8]. Таким чином, на орієнтованому графі $G = (V, E)$ системи для вершини $v_i \in V, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ вагою $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$ є величина надійності елемента складної організаційно-технічної системи, що відповідає вершині v_i . Вагою $w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ij}$, де $j \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j$, дуги $(v_i, v_j) \in E$ є число $0 < \varepsilon_{ij} \leq 1$, що дорівнює частці впливу, який передається по структурі системи при переході від вершини v_i до вершини v_j .

Процес зміни ваги вершин графа системи опишемо за допомогою імпульсної дії $imp_j(t), j \in \{1, 2, \dots, n\}$ у дискретному часі $t > 0$:

$$imp_j(t) = \frac{w_j(t)}{w_j(t-1)}. \quad (1)$$

Тоді для j -ї вершини графа G визначимо імпульсну дію як

$$w_j(t+1) = w_j(t) \prod_{i=1}^{\deg v_j} \varepsilon_{ij} imp_j(t) \quad (2)$$

або

$$w_j(t+1) = w_j(t) \prod_{i=1}^{\deg v_j} (1 - \varepsilon_{ij} imp_j(t)), \quad (3)$$

де $\deg v_j$ – кількість ребер, що входять до вершини v_j .

Формули (1), (2), (3) задають зміни ваги вершин графу $G = (V, E)$, визначаючи динаміку розповсюдження зовнішніх впливів по системі. Формула (2) відповідає зростаючим імпульсним впливам при переході від вершини до вершини у структурі системи, а формула (3) – загасаючим, що зменшуються при переході від однієї вершини до іншої. Ця модель є відомою для технічних систем [8].

Розширимо наведену модель на величину компенсації впливу системи за рахунок організаційної компоненти. Компенсатором $r_{ij}(w_j(t))$, де $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, $i \neq j$, дуги $(v_i, v_j) \in E$ є число $0 < r_{ij} \leq 1$, що дорівнює частці впливу, який компенсується вершиною v_j у структурі системи при переході від вершини v_i до вершини v_j , коли компенсатор має залежність від ваги вершини (здатності компенсувати зовнішні впливи). У випадку, коли компенсатор r_{ij} більший за вагу ребра ε_{ij} , вважається, що вага вершини не змінюється.

У загальному випадку для СОТС військового призначення впливи можуть поділятися за типами (вогневе ураження, радіоелектронне придушення, розповсюдження вірусів по телекомунікаційній мережі тощо), що породжує матрицю імпульсної дії виду

$$I = \text{imp}_{jk}(t), \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad k \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad (4)$$

де m – кількість типів впливів.

Тоді формули (3), (4) можна переписати у вигляді

$$w_j(t+1) = w_j(t) \sum_{k=1}^K \prod_{i=1}^{\text{deg } v_j} (\varepsilon_{ijk} - r_{ijk}) \cdot \text{imp}_{jk}(t) \quad (5)$$

або

$$w_j(t+1) = w_j(t) \sum_{k=1}^K \prod_{i=1}^{\text{deg } v_j} (1 - (\varepsilon_{ijk} - r_{ijk}) \cdot \text{imp}_{jk}(t)). \quad (6)$$

Складна організаційно-технічна система, на відміну від технічної системи, після завершення впливу починає відновлюватися. Процес відновлення вершини v_i графа $G = (V, E)$ системи полягає у поверненні її ваги:

$$w_i^k = f(w_i(t_0), k, t_0, t_1), \quad (7)$$

де t_0 – час початку відновлення вершини;

t_1 – час завершення відновлення вершини (проміжок часу між t_0 та t_1 є часом відновлення);

$w_i(t_0)$ – вага вершини w_i на початку відновлення;

k – тип впливу;

f – функціонал, що поєднує дані змінні.

Відновлення може відбутися до повного або часткового повернення ваги вершини.

Модель впливу на СОТС подано у вигляді векторів (матриць):

– вектора початкових значень ваги вершин:

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0)); \quad (8)$$

– матриці імпульсної дії виду (6), якщо кожен рядок матриці має тільки одну i -ту, відмінну від одиниці компоненту, то такий вплив є простим з початковою вершиною v_i ;

– тривимірної матриці передачі впливу по структурі системи:

$$E = \|\varepsilon_{ijk}\|; \quad (9)$$

– тривимірної матриці компенсації впливу:

$$R = \|r_{ijk}\|; \quad (10)$$

– матриці функцій відновлення вершин графа виду (7).

Поширення уражаючих впливів у системі відповідно до побудованої моделі (1)–(10) залежить від структури складної організаційно-технічної системи.

При цьому виникає низка взаємопов'язаних задач. По-перше, необхідно з'ясувати, яку частину елементів СОТС може уразити зовнішній вплив, тобто глибину розповсюдження впливу на структуру системи. При цьому важливо, наскільки буде зменшена вага вершин графа при такому впливі та який час потрібен буде для відновлювання. Завдання ускладнюється тим, що глибина поширення впливу залежить безпосередньо від місця вершин, на які вони будуть спрямовані.

По-друге, у графа складної організаційно-технічної системи можлива наявність контурів [2]. Зменшення ваги будь-якої вершини контуру графа системи з моделі (1)–(10) призводить до зменшення ваги всіх елементів контуру. Таке зациклення впливу на систему може призвести до втрати елемента з контуру. Більше того, при подібному поширенні впливу по графу системи можлива відмова елементів, що не отримали вплив безпосередньо, але мали низьку початкову вагу. Прикладом ситуації є інформаційне перевантаження системи управління в циклі Бойда (“спостереження” – “орієнтація” – “рішення” –

“дія”), що являє собою контур графа системи прийняття рішення [9]. Таку закономірність можна також назвати “ефектом доміно”.

По-третє, поширення впливу залежить і від складності структури системи. Процес зміни ваги кожної вершини графа системи під час впливу можна вважати динамічним. Але тривалість цих змін та процес відновлення залежать від структури системи та здатності її адаптуватися як під час впливу (веденні бойових дій), так і в процесі відновлення (підготовки до ведення бойових дій).

Властивості структури складної системи визначають параметри її стійкості. Якщо структура не забезпечує стійкості, то її потрібно змінювати (адаптувати).

Структурною вразливістю $vl(u)$ вершини $u \in V^*$ є кількість шляхів, кінцем яких є вершина u . Для розрахунку структурної вразливості вершини $u \in V^*$ графа G^* достатньо визначити множину U вершин, з яких досягається вершина u , та визначити кількість усіх не збіжних один з одним (u, v) шляхів для кожної вершини $v \in U$. Множину U назвемо множиною вразливості вершини u . Вочевидь, що в утворенні всіх напівбазових шляхів вершини $u \in V^*$ беруть участь тільки вершини її множини вразливості U , яку на графі G^* можна отримати за допомогою наступного алгоритму.

На нульовому кроці вибирається вихідна вершина u , структурну вразливість якої потрібно обчислити.

На першому кроці помічаються всі ребра, які входять до вершини u та вершини $u_{1,1}, u_{1,2}, \dots, u_{1,s_1}$, з яких вони виходять. В індексному позначенні послідовності $s_1 \geq 1$ – напівступінь заходу вершини u . Вершини u та $u_{1,1}, u_{1,2}, \dots, u_{1,s_1}$ об'єднуємо до множини U .

На наступних кроках (від 2 до 1-го) таку операцію потрібно провести з кожною виділеною на попередніх етапах вершиною $u_{i-1,1}, u_{i-1,2}, \dots, u_{i-1,s_1}$, ($i = 2, 3, \dots, 1$), а виділені на поточному етапі вершини $u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,s_1}$ помічаються і додаються до множини U . На кожному етапі виділяти треба лише не помічені раніше вершини.

Алгоритм продовжується доти, поки у помічених вершин напівступінь відзнятиметься від нуля. У наведеному

алгоритмі кожна вершина, виділена на етапі $i-1$, досягається хоча б з однієї вершини, що виділена на наступному етапі. В іншому випадку ця вершина мала б нульовий напівступінь заходу. Також слід відмітити, що для вершини $u \in V^*$ графа $G^* = (V^*, G^*)$ її множина вразливості U може збігатися з множиною вершин V^* графа G^* .

Структурна вразливість елемента дає якісну оцінку його розташуванню в структурі системи і дозволяє зробити висновок про те, наскільки безпечно розташування елемента в структурі системи стосовно інших елементів у період уражаючих впливів на систему з боку протиборчої сторони. Однак структурна вразливість не дає кількісної оцінки зменшення надійності елемента при переході системи в умови вражаючих впливів. Таким показником є гранична надійність елемента системи, що доповнює структурну вразливість. Гранична надійність вершини u – це величина надійності вершини на момент закінчення зовнішнього впливу, побудованого за моделлю (1)–(10). Алгоритм, запропонований вище, для кожної вершини виділяє множину вразливості U . Виходячи з цього можна обчислити суму довжини всіх шляхів, кінцем яких є вершина u . Позначимо цю суму через $ps(u)$ і назвемо мірою структурної вразливості вершини.

Підвищення надійності або зниження критичного рівня надійності елемента до граничного вимагає певних витрат. Тому при проектуванні СОТС потрібно максимально зменшувати частку переданих через ребра імпульсів. Кількісним відображенням таких властивостей є ваги з (2), (3). Із формул (4), (5) видно, що чим менше вага ребер графа вразливості вершини, тим вище гранична надійність, а виходить, тим менше витрат для досягнення критичного рівня надійності елемента системи.

У моделі (1)–(10) поширення простого зовнішнього впливу по системі, що почався з певної початкової вершини, незалежно від своєї величини, має можливість розповсюдження на деяку множину елементів системи. Чим менше ця множина, тим вище можливості опору складної організаційно-технічної системи до зовнішнього впливу.

Множину вершин будь-якого V орієнтованого графа $G = (V, E)$ можна поділити на три попарно непересічні підмножини. Перша C – множина вихідних

вершин або база – це вершини, у кожному з яких не заходить жодне ребро. Друга \bar{C} – множина вхідних вершин або контрабаза – це вершини, з яких не виходить жодне ребро. І нарешті, третя множина проміжних вершин – вершини, у яких є хоча б по одному вхідному та вихідному ребру. У графі структури СОТС проміжні вершини передають простий вплив від однієї суміжної вершини до іншої, тому такі вершини у графі системи найменш бажані. Наявність вхідних і вихідних вершин у графі системи, навпаки, бажана, тому що простий імпульс не дійде до жодної вхідної вершини, і не буде поширюватися по системі, якщо його початкова вершина є вихідною. Спираючись на наведені міркування, введемо показник проникнення зовнішнього впливу по системі $gp(G)$:

$$gp(G) = \frac{|V| - |C| - |\bar{C}|}{|V|}, \quad (11)$$

де знак модуля позначає кількість елементів у відповідній множині.

Якщо граф G містить гамільтоновий контур [2], то $gp(G) = 1$. Це найбільш уразливий випадок для можливих графів структури СОТС. Усі вершини у контурі проміжні, тому зовнішній вплив буде розповсюджуватися незалежно від місця його входу в систему.

Для безконтурних графів $G^* = (V^*, G^*)$:

$$gp(G^*) \geq \frac{|V^*| - 2}{|V^*|}, \quad (12)$$

оскільки кожен безконтурний граф має хоча б по одній вхідній та вихідній вершині.

Імпульсний вплив на будь-яку вершину контуру позитивного зворотного зв'язку призводить до зниження надійності елемента цього контуру до критичного рівня, як наслідок – і до переходу в граничний стан. Із цієї причини контури в структурі системи мають негативний вплив на стійкість усієї СОТС. При отриманні зовнішнього впливу елементи контуру в структурі послідовно зменшують свою надійність доти, поки вузли не компенсують вплив за рахунок компенсатора r_{ij} або до втрати елемента контура (контур стає розімкненим). Схема методу аналізу стійкості структури СОТС складається з послідовності етапів (рисунок). Для забезпечення стійкості системи як

завдання аналізу та прогнозування процесів деградації СОТС на етапі підготовки до ведення бойових дій можливі два підходи.



Послідовність етапів дослідження стійкості СОТС

Перший підхід – це наділення СОТС достатнім внутрішнім ресурсом (компенсаторами), що дає змогу протистояти будь-яким зовнішнім дестабілізуючим впливам. Другий – зміна (періодична або разова) структури системи, тобто зміна зв'язків між елементами системи, що дозволяють підвищувати стійкість СОТС, видаляючи зі структури системи найнебезпечніші та вразливі взаємозв'язки. Другий підхід відповідає такому напрямку теорії управління складними системами, як структурне управління.

Висновки

Таким чином, запропонована у статті математична модель розповсюдження зовнішніх впливів по системі дає змогу дослідити зміну стійкості всієї системи залежно від виду, типу і місця впливу. Доведено, що контури в структурі системи є генератором внутрішніх впливів, модель (на відміну від відомої математичної моделі технічної системи) враховує процес відновлення вершини (за рахунок організаційної компоненти) та компенсаторів впливу.

Доведено залежність надійності елемента від його положення в структурі СОТС, а також залежність стійкості всієї системи від вибраної

у процесі проектування структури системи. Знайдені у ході дослідження моделі на графах підтверджують тези синергетичного підходу до проектування складних систем.

Використання запропонованих у статті показників (структурна вразливість, гранична надійність, проникнення) для оцінювання елементів СОТС при зовнішніх впливах дозволяє вирішити оптимізаційну задачу резервування елементів, підвищення значення показника відновлення та компенсатора, що належить до класу задач динамічного та цілочисельного програмування.

Список використаних джерел

1. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ [Текст] / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – Москва : Юрайт, 2012. – 688 с.
2. Оре, О. Теория графов [Текст] / Оре, О. – Москва : Либроком, 2009. – 354 с.
3. Тристан, А. В. Комплексна модель руйнування складних організаційно-технічних систем [Текст] / А. В. Тристан, Т. М. Курцева, В. Г. Паталаха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2016. – № 4. – С. 100–104.
4. Алексеев, Ю. К. Введение в теорию катастроф [Текст] / Ю. К. Алексеев, А. П. Сухоруков. – Москва : Либроком, 2009. – 176 с.

5. Тристан, А. В. До питання використання методу аналізу зв'язності структури складних систем для розв'язування задач планування вогневого ураження об'єктів противника [Текст] / А. В. Тристан, С. В. Немченко, Ю. Г. Бусигін // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8. – С. 102–105.

6. Поліедральний аналіз у дослідженні структурно складних систем для рішення задачі вибору об'єктів вогневого ураження [Текст] / А. В. Тристан, В. В. Грідіна, О. М. Козак, С. Л. Городецький // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 4. – С. 15–19.

7. Тристан, А. В. Модель системи планування розподілу ресурсу в інформаційно-обчислювальній мережі автоматизованої системи управління [Текст] / А. В. Тристан, Ю. Г. Бусигін, В. М. Чернега // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. – № 1. – С. 93–95.

8. Кочкаров, А. А. Новые теоретико-графовые подходы в моделировании сложных систем [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук / А. А. Кочкаров. – Москва : РГБ, 2005. – 128 с.

9. Ивлев, А. А. Основы теории Джона Бойда. Принципы, применение и реализация [Электронный ресурс] / А. А. Ивлев. – Режим доступа : <http://milresource.ru/Boyd.html> (дата обращения : 01.08.2018.) – Загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 13.09.2018 р.

УДК 519.876 (171.4)

А. В. Тристан, А. А. Бережной, А. Н. Гурин

ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Организационно-технические системы – это особый класс управляемых открытых сложных, как правило, нелинейных систем, в которых соединяются два фактора: человеческий (организационный) и технический (технологический). Решение задач контроля, анализа, прогнозирования и управления такими системами имеет значительную сложность, что требует создания соответствующих систем поддержки принятия решений (СППР). В данных системах должны быть объединены статистические методы анализа и прогнозирования, методы математического и имитационного моделирования, элементы экспертных систем. Базой для решения определенных задач является ядро СППР, что позволяет предоставлять предложения относительно определения критических точек СОТС, распознавать поведение окружающей среды, давать рекомендации по восстановлению системы. В статье усовершенствован теоретико-графовый метод для анализа структуры СОТС. Основной результат исследования –

математические модели деградации СОТС в теоретико-графовой постановке и метод анализа устойчивости структуры СОТС. Предложенная в статье математическая модель распространения внешних влияний по системе позволяет исследовать изменение устойчивости всей системы в зависимости от вида, типа и места влияния. Доказано, что контуры в структуре системы являются генератором внутренних влияний, модель (в отличие от известной математической модели технической системы) учитывает процесс восстановления вершины (за счет организационной компоненты) и компенсаторов влияния.

***Ключевые слова:** надежность, модель, теоретико-графовый подход, стойкость, сложная организационно-техническая система.*

UDC 519.876 (171.4)

Trystan A. V., Berezhnyi A. O., Gurin A. N.

GRAPH-THEORETIC METHOD OF ANALYSIS COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS STABILITY

Complex organizational and technical systems (COTS) it is the special class guided open difficult, as a rule, nonlinear systems two factors unite in that: human (organizational) factor and technical (technological) factor. Decision of tasks of control, analysis, prognostication and control such systems are have considerable complication, that need creation of the corresponding systems of support of making decision (DSS). The statistical methods of analysis and prognostication, methods of mathematical and imitation design, elements of consulting models, must be incorporated in these systems. A base for the decision of certain tasks is a kernel of DSS, that allows to give to suggestion in relation to determination of critical points of COTS, to recognize behavior of environment, give to recommendation in relation to renewal of the system. In the article the improved graph-theoretic method is for the analysis of structure of COTS. The basic result of research are mathematical models of degradation COTS in the graph-theoretic raising and method of analysis stability structure of COTS. An offer in the article mathematical model of distribution of external influences on the system allows to investigate the change of stability of all system depending on a kind, type and place of influence. It is well-proven that contours in the structure of the system are the generator of internal influences, a model (unlike the well-known mathematical model of the technical system) takes into account the process of renewal of top (due to an organizational component) and scraies of influence.

***Keywords:** reliability, model, Graph-theoretic method, stability, difficult organizationally-technical system.*

Тристан Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Бережний Андрій Олександрович – начальник штабу – перший заступник начальника наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Гурін Олександр Миколайович – науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, працівник ЗС України