

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ

The current state and the future development of the modern theory of functional stability of complex systems. Identified areas of development that are based on the principles of artificial intelligence and information technology support decision-making.

*Key words:* functional stability, redundancy, complex technical system.

**Вступ.** В сучасних умовах особливу важливість набуває загальна науково-прикладна проблема підвищення ефективності функціонування різноманітних складних систем [1]. Важливим напрямком її вирішення є забезпечення системі властивості функціональної стійкості, що за даними експертів підвищить ефективність на 10-15% без істотних витрат [2,3].

**Постановка проблеми.** Дослідження існуючих науково обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем дозволили зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням системі властивості функціональної стійкості [1-11 та ін.]. Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних вже існуючих видів надмірності (апаратної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Принципово те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів. Проблема полягає у виявленні вже існуючої надмірності й формуванні сигналів у необхідний момент на її перерозподіл. У цьому є основна відмінність проблеми забезпечення функціональної стійкості від проблеми побудови структурно надмірних систем. Особливості принципу багатьох складних технічних системи дозволили зробити висновок про те, що, незважаючи, на існуючі серйозні наукові результати теорії функціональної стійкості, досліджувані в них математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати процес функціонування всіх існуючих систем. Отже, актуально розвивати дану теорію функціональної стійкості саме для конкретних систем [4]. Мається на увазі інформаційні технології підтримки прийняття рішень (як складні системи), які, безумовно, вносять певний вклад в процедуру підвищення ефективності складних систем різноманітного призначення.

**Аналіз публікацій.** Аналіз існуючої теорії функціональної стійкості показав, що в роботі [2] вперше сформулювала властивість функціональної

стійкості, розроблена загальна концепція її забезпечення для складних технічних систем та вирішена проблема забезпечення функціональної стійкості бортового інформаційно-керуючого комплексу летального апарату (ЛА). Були запропоновані нові принципи й отримані закони управління рухом ЛА, як динамічної системи, математично описаної системою диференціальних рівнянь. Існуюча теорія функціональної стійкості потребує подальшого розвитку для забезпечення цієї властивості іншим системам.

**Метою статті** є доведення результатів аналізу існуючого стану та визначенню шляхів подальшого розвитку сучасної теорії функціональної стійкості складних систем на принципах штучного інтелекту та інформаційних технологіях підтримки прийняття рішень.

**Основна частина.** Дослідження показали, що відомі властивості складних технічних систем, такі як стійкість, надійність, живучість, відмовостійкість характеризують функціонування систем при впливі відмов та ушкоджень. Але вони не дозволяють повною мірою описати процеси функціонування в умовах значних руйнувань, впливу потоків відмов і несправностей, можливих терористичних впливів, а також помилках операторів й інших внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих впливів. Тому, доцільно забезпечити системі нову властивість складних технічних систем – функціональну стійкість.

Варто підкреслити, що в багатьох наукових працях є матеріал про стійкість функціонування, наприклад, в книзі Бусленко Н.П. «Лекции по теории сложных систем» [1] 9 глава присвячена саме стійкості функціонування. Але ще в 90-х роках минулого сторіччя в своїх роботах Машков О.А. сформулював властивість функціональної стійкості і загальну ідею її забезпечення для складної технічної системи. Послідовники наукової школи функціональної стійкості Барабаш О.В. і Кравченко Ю.В. внесли вклад у розвиток понятійного апарату і вирішили проблему забезпечення функціональної стійкості для конкретних технічних систем, а саме, розподіленої інформаційної і псевдосупутникової радіонавігаційних систем.

Барабаш О.В. вперше, формалізував і довів основну відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості: стійкість функціонування характеризує поведінку координат незбуреного й збуреного руху системи [4]

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(z_0, z'_0) < \varepsilon \Rightarrow \rho[z(t, z_0), z(t, z'_0)] < \theta, \quad \forall t \in [0, \infty], \quad (1)$$

де:

$z_0 = z(0)$  – початкові умови – координати фазового простору  $z_0$  при незбуреному русі;

$z'_0 = z'(0)$  – координати фазового простору при збуреному русі;

$\rho$  – метрика простору  $Z$ ;

$\varepsilon, \theta$  – задані числа, що характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

Функціональна стійкість характеризує відхилення основних функцій від координат при збуреному і незбуреному русі

$$\begin{aligned} \forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(f(z_0), f(z'_0)) < \varepsilon \Rightarrow \\ \rho[f(z(t, z_0)), f(z(t, z'_0))] < \theta, \forall t \in [0, \infty[ \end{aligned} \quad (2)$$

де  $f(z)$  – функція від координати руху системи, що характеризує основні вимоги, що висуваються до системи.

Розподілена інформаційна система математично описана випадковим графом, вершини якого з'єднані за принципом трикутника. Іншими словами, при будь-яких позаштатних ситуаціях інформація від кожного вузла повинна дійти (нехай і не по найкоротшому шляху) до кожного вузла системи.

Запропоновано необхідну й достатню умову функціональної стійкості розподілених інформаційних систем спеціального призначення, що полягає в працездатності всіх вузлів комутації й наявності альтернативних маршрутів передачі інформації між вузлами. Запропоновано понятійний апарат функціональної стійкості, що являє собою сукупність математичних моделей, ознак, показників, критеріїв, границі, запасу й областей функціональної стійкості. Узагальнено й одержали подальший розвиток методи визначення зв'язності графів в інтересах обчислення показників функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. Розроблений метод двосторонньої оцінки ймовірності зв'язності графа відрізняється від відомих приблизних методів додатковим об'єднанням простих ланцюгів щодо ребер розрізу у вершини стоку графа структури двохполюсної розподіленої інформаційної системи й дозволяє з більше високою точністю визначати показники функціональної стійкості для рішення практичних задач. Установлені аналітичні залежності для оцінки зв'язності псевдорегулярних графів дозволяють по спрощених формулах порівнювати різні структури розподілених інформаційних систем по показниках функціональної стійкості. Розроблені методики синтезу структури функціонально стійких розподілених інформаційних систем, які містять у собі методику рішення часткової задачі й методику рішення загальної задачі синтезу. Удосконалено методику ідентифікації позаштатних ситуацій у функціонально стійких розподілених інформаційних системах, що відрізняється від існуючих тем, що поширено на неповносвязні структури системи, заснована на принципах блукаючого діагностичного ядра й не вимагає додаткової апаратної надмірності для рішення задач ідентифікації [4].

Кравченко Ю.В. на базі теоретичного підходу викладеного в [1] надав формалізоване визначення функціональної стійкості псевдосупутникової радіонавігаційної системи. А саме, внутрішній стан  $z$  розглянутої системи є елементом множини  $Z$ , (фазового простору). Процес функціонування визначається законом зміни внутрішнього стану в часі. Вважається, що функціонування системи описується деяким набором параметрів  $\alpha$ . Поняттю «параметр» надається широкий зміст. Відповідно до цього  $\alpha$  – елемент множини  $A$ , названого множиною або простором параметрів. Таким чином,

зміна внутрішнього стану в часі  $z(t, \alpha)$  залежить від  $\alpha$ . При цьому  $t \in I$ , де  $I$  – сукупність розглянутих моментів часу, тобто інтервал функціонування системи.

В загальному випадку функція часу  $z(t, \alpha)$  є реалізацією деякого випадкового процесу. Так як якість роботи будь-якої системи оцінюється за допомогою функціоналів, тому вважається, що на реалізаціях  $z(t, \alpha)$  при будь-якому  $\alpha \in A$  задане однопараметричне сімейство дійсних функціоналів  $F_\tau = F_\tau\{z(t, \alpha), t \leq \tau, t, \tau \in I, \alpha \in A\}$ . Значення функціонала  $F_\tau$  при фіксованому  $\tau$  оцінює роботу системи до цього моменту. При фіксованому  $\alpha$  і фіксованій реалізації  $z(t, \alpha)$  функціонал  $F_\tau$  є дійсною функцією часу  $\tau \in I$ .

Досліджена множина  $D$  різних дійсних функцій з областю визначення  $I$ . Позначено:  $\beta$  – сукупність деяких підмножин цієї множини. Аналогічно, для кожної множини  $\beta \in B$  визначена сукупність  $\beta_\gamma(B)$  деяких підмножин  $B$ , обумовлену параметром  $\gamma$ . Фізичний зміст уведених понять: якщо дійсна функція належить одному із множин сукупності  $\beta$ , то це характеризує, основну властивість обраного визначення стійкості. Приналежність же одному з підмножин сукупності  $\beta_\gamma(B)$  говорить про деякі додаткові властивості, що визначають особливості поняття стійкості. Так як  $B$  – деяка множина функцій, то позначено через  $B^t$  множини значень всіх функцій з  $B$ , розглянутих у точці  $t$ . Підкреслено, що в інтервал  $I$  входить фіктивна точка  $\infty$ . Тоді, якщо деяка реалізація  $\{F_\tau, \tau \in I\}$  є елементом заздалегідь обраної множини  $B$ , тобто  $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$ , то по визначенню  $F_\infty \in B^\infty$ . Якщо ж  $\{F_\tau, \tau \in I\} \notin B$ , то  $F_\infty \notin B^\infty$ . Отже, можна сказати, що  $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$  тоді і тільки тоді, коли  $F_\infty \in B^\infty$ .

Аналогічно тому, як це робилося для множини  $D$ , позначено  $\Lambda$  – сукупність деяких підмножин множини параметрів  $A$ . Для кожної множини  $A \in \Lambda$  знайдено сукупність  $\Lambda_\gamma(A)$  деяких його підмножин, також обумовлену параметром  $\gamma$ . Розрізнялися два числа:  $a$  і  $a - 0$ .

Таким чином, отримано визначення: псевдосупутникова раціонавігаційна система є функціонально стійкою відносно  $(\beta, \{\beta_\gamma\}, \Lambda, \{\Lambda_\gamma\}, \varepsilon_0, F_\tau, T)$ , де  $0 \leq \varepsilon \leq 1$  – деяке число,  $F_\tau$  – обране однопараметричне сімейство функціоналів,  $T$  – деяка підмножина інтервалу функціонування  $I$ , якщо для будь-якої  $\varepsilon > \varepsilon_0$  і будь-якої множини  $B \in \beta$  можна знайти множину  $A \in \Lambda$  таку, що для кожного  $A_1 \in \Lambda_B(A)$  існує  $B_1 \in \beta_{A_1}(B)$ , що задовольняє при всіх  $\tau \in T$  і  $\alpha \in A_1$  нерівності

$$P\{F_\tau[z(t, \alpha), t \leq \tau] \in B_{A_1}^\tau\} > 1 - \varepsilon. \quad (3)$$

Тут як параметр для набору сукупностей  $\{\Lambda_\gamma\}$  виступають множини  $B$  з  $\beta$ , а параметрами для  $\{\beta_\gamma\}$  є множини з  $\Lambda_B$ . Це визначення вимагає, щоб деяка властивість системи зберігалася в тому або іншому імовірнісному змісті на заздалегідь обраному інтервалі часу. Множини із сукупності  $\Lambda$  вказують на характер припустимих збурювань. Якщо ж параметри змінюються в одній із множин сукупності  $\Lambda_B(A)$ , то з погляду поставленої задачі поведінки системи повинне змінюватися незначно. Підмножина  $T$ , що характеризує інтервал часу, на якому досліджується стійкість, і сімейство функціоналів  $F_T$  є неодмінними елементами будь-якого приватного визначення.

На відміну від розподіленої інформаційної системи в псевдосупутниковій радіонавігаційній системі моделлю з'єднань між елементами прийнято вважати так звану «зірку», а математичною моделлю – навантажені орграфи. Проблема синтезу структури системи вирішена на основі теорії матроїдів, градієнтних алгоритмів і розробленого автором методу збільшення рангу  $k$ -однорідного матроїда [6]. Вперше запропонована концепція синтезу структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка відрізняється від існуючих підходів побудови багатопозиційних радіонавігаційних систем забезпеченням властивості функціональної стійкості шляхом застосування структурної надмірності і формуванням відновлюючого управління з метою відбивання наслідків позаштатних ситуацій (при відмовах, збоях, руйнуваннях, бойових і інших ушкодженнях псевдосупутників), для виконання системою необхідних функцій по навігаційному забезпеченню. Реалізація концепції дозволяє синтезувати структуру системи з урахуванням можливих втрат її елементів, а також зменшити кількість псевдосупутників у 2-4 рази при рівних значеннях показника функціональної стійкості. Одержав подальший розвиток понятійний апарат функціональної стійкості структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи (ознака, показник, критерій, границя й область функціональної стійкості), який відрізняється від існуючих аналогів тим, що він може бути застосований для будь-яких багатопозиційних радіонавігаційних систем, що дозволяє математично формалізувати цільову функцію й обмеження в задачі оптимізації структури, а також кількісно і якісно оцінювати властивість функціональної стійкості структур псевдосупутникових систем. Розроблена методика синтезу структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка відрізняється від існуючих методик синтезу структур багатопозиційних радіонавігаційних систем забезпеченням властивості функціональної стійкості; застосуванням запропонованого методу послідовного збільшення рангу  $k$ -однорідного матроїда. вперше розроблена методика визначення значення показника функціональної стійкості структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка відрізняється від існуючих тим, що вона комплексно враховує як точність рішення задачі навігації споживачами, так і структурну

надмірність псевдосупутникової системи, а також можливість управляти структурною надмірністю системи з метою відбивання наслідків відмов, збоїв, руйнувань, бойових та інших ушкоджень псевдосупутників. Застосування методики дозволяє кількісно оцінювати функціональну стійкість будь-яких структур багатопозиційних радіонавігаційних систем при аналізі існуючих і синтезі перспективних систем [5,6 та ін.].

Значний вклад в розвиток теорії функціональної стійкості зробив професор Неділько С.М. А саме, в його роботах [3,7,8 та ін.] одержала подальший розвиток класична концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем, яка характеризується новою стратегією забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом у контексті деталізації етапу «парування» через підетапи: виявлення існуючих ресурсів (області надмірності), формування процедури оптимального (субоптимального) використання надмірності й оцінки стану системи після перерозподілу ресурсів. Удосконалено методику оцінки функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка відрізняється від існуючих комплексним використанням принципу декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи та методики розрахунку узагальненого ймовірнісного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури. Розроблено методику виявлення існуючої області надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка ґрунтується на ідеї використання апріорної інформації при визначенні ознак надмірності, попереднього формування області надмірності, послідовного виключення надмірних елементів та зв'язків із системи з метою оцінки якості функціонування системи для остаточного уточнення області надмірності. Використання методики дозволяє виявити існуючий ресурс (область надмірності) для подальшого використання під час парування нештатних ситуацій. Розроблено методику оптимального використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка базується на запропонованому автором методі поетапного зменшення потужності бази перестановочного багатогранника, а також принципом формування максимальної бази при зануренні множини допустимих рішень в частково упорядковану множину, для якої цільова функція і градієнт монотонні уздовж ланцюгів, що індукційовані частковим порядком. Реалізація методики дозволяє із множини допустимих варіантів перерозподілу ресурсів знаходити оптимальне рішення при значному зменшенні числа звернень до цільової функції у порівнянні з іншими точними методами оптимізації.

В роботах Обідна Д.М. [9-11 та ін.] одержала подальший розвиток існуюча концепція функціональної стійкості складних технічних систем, яка відрізняється від існуючих підходів запропонованою стратегією та принципами забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальних систем автоматичного управління польотом літального апарата в контексті розвитку етапу «розпізнавання» класичної теорії через

впровадження верифікації децентралізованої нечіткої бази знань для визначення достовірності елементів знань та етапу «парирування», в якому при формуванні відновлюючого управління враховується суб'єктивний характер знань через показники достовірності елементів бази знань для парирування наслідків нештатних ситуацій в польоті літального апарата. Реалізація запропонованої стратегії та принципів дозволяє враховувати суб'єктивний характер елементів бази знань при формуванні алгоритмів відновлюючого управління, що в сукупності забезпечить адекватне реагування системи автоматичного управління на нештатні ситуації та високий рівень безпеки польотів.

Запропоновано верифікаційну модель розподіленої бази знань інтелектуальної системи управління літальним апаратом, яка базується на так званому «блукуючому верифікаційному ядрі» та можливості оцінки коректності елементів знань на основі результатів тестових перевірок, що дозволяє реалізувати запропонований метод верифікації розподіленої бази знань інтелектуальної системи управління літальним апаратом [10]. Розроблено метод верифікації розподіленої бази знань, який базується на запропонованій верифікаційній моделі, а також на випадковому методі переміщення верифікаційної інформації та аналізі верифікаційної інформації на основі характеристичних чисел структури зв'язків, що дозволяє досягти заданої достовірності верифікації елементів бази знань. Удосконалено нечіткі та чіткі графові моделі функціонування розподілених баз знань системи автоматичного управління літальним апаратом, що на відміну від існуючих відрізняються використанням графу станів розподіленої бази знань, графу інформаційних зв'язків між модулями системи, графу управління розподіленої бази знань, структурного графу, які об'єднані в граф мультиструктури, що дозволяє здійснювати формальний опис на будь-якому рівні процесу функціонування за допомогою запровадженої операції детальної розшифровки. Запропоновані моделі функціонування розподіленої бази знань дозволяють здійснювати паралельний формальний опис нечітких ситуацій в системі автоматичного управління у відповідності до нечітких станів бази знань та отримати широкий спектр характеристик функціональної стійкості розподіленої бази знань.

В роботі [11] вперше запропоновано метод нечіткого виведення на розподілених верифікованих базах знань системи автоматичного управління літальним апаратом, який базується на ідеї побудови дерева інтелектуальних модулів на основі упорядкованості процесів управління та ієрархії підпорядкованості різних блоків (модулів) системи автоматичного управління при їх функціонуванні, та реалізує схему дедуктивного виведення на основі застосування часткових алгоритмів: нечіткого термінального низхідного неадитивного виведення; нечіткого адитивного ієрархічного виведення; нечіткого адитивного узагальненого виведення; нечіткого локального виведення. Дані алгоритми враховують ієрархічну організацію бази знань системи автоматичного управління літального апарата та її

нечіткість, визначену на основі процедур верифікації, що дозволяє здійснювати виведення рішень на основі інформації різнорідних джерел в умовах динамічної зміни цілей управління у реальному часі.

**Висновки.** Аналіз наукових положень існуючої теорії функціональної стійкості дозволяє зробити висновок про відсутність публікацій у явному вигляді щодо вирішення проблеми побудови функціонально стійкої інформаційної технології підтримки прийняття рішень в процесі експлуатації складних систем.

Очікується, що створення функціонально стійких інформаційних технологій підтримки прийняття рішень дасть можливість успішно вирішити багато проблем побудови та освоєння нових поколінь складних систем, так як ці системи дозволяють:

істотно розширити діапазони умов застосування; забезпечити комплексну оптимізацію виконання покладених на систему функцій;

підвищити ефективність систем, в тому числі і в критичних режимах; в значній мірі знизити часові та матеріальні витрати на розробку і освоєння окремих зразків техніки як за рахунок високого рівня уніфікації елементної бази систем, так і за рахунок зниження вимог до натурних випробувань складних систем на початкових стадіях їх освоєння; скоротити терміни відпрацювання навичок застосування та обслуговування завдяки можливості реалізації оптимальних з точки зору ергономіки характеристик керованості систем.

1. *Бусленко Н. П.* Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – М.: Сов. радио, 1973. – 440 с.
2. *Артюшин Л. М.* Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л. М. Артюшин, О. А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
3. *Неділько С.М.* Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С. М. Неділько. – Кіровоград: ДІАУ, 2011. – 220 с.
4. *Барабаш О. В.* Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О. В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
5. *Кравченко Ю. В.* Методология многокритериальной дискретной оптимизации сложных технических систем на матридных структурах / Ю. В. Кравченко, В. В. Афанасьев // Збірник наукових праць ІІМ в Е ім. Г. Є. Пухова. – Вип. 22 – 1. – К.: ІІМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2003. – С. 73 – 78.
6. *Кравченко Ю. В.* Применение метода последовательного увеличения ранга k-однородного матрида в задаче синтеза структуры псевдоспутниковой радионавигационной системы / Ю. В. Кравченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2008. – №2(2). – С. 19 – 22.
7. *Неділько С. М.* Математична формалізація функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С. М. Неділько // Системи озброєння і військової техніки. – Х., 2011. – № 1(25). – С. 119 – 122.
8. *Неділько С. М.* Концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем на прикладі системи управління повітряним рухом України / С. М. Неділько // Проблеми транспорту: збірник наукових проць. – К.: НТУ, 2011. –



Вип. 3. – С 240 – 244.

9. *Обідін Д.М.* Верифікація розподіленої бази знань системи управління перспективного літального апарата на основі побудови мінімально достатніх структур / Д.М. Обідін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 7 (105). – С. 130 – 134.

10. *Обідін Д.М.* Алгоритми логічного виведення знань в розподіленій інтелектуалізованій системі автоматичного управління / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш, Р.В. Хращевський // Збірник наукових праць Харківського інституту Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 4 (33). – С. 161 – 167.

11. *Обідін Д.М.* Проблема забезпечення функціональної стійкості інтелектуальної системи управління літальним апаратом / Д.М. Обідін // Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони: науково-практичний журнал. – 2011. – № 3(12). – С. 44 – 47.

*Поступила 25.9.2013р.*

УДК 007.355

І. О. Ляшенко, м. Київ

**ПЕРЕВІРКА НАЯВНОСТІ МАРШРУТУ ВИВЕДЕННЯ НА  
МУЛЬТИПОЛЮСНІЙ МЕРЕЖІ ПРАВИЛ МОДЕЛІ КВАНТОВОГО  
ПРЕДСТАВЛЕННЯ БАГАТОВИМІРНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО  
ПРОСТОРУ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ  
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ  
МІНІМАЛЬНОГО РОЗРІЗУ ГРАФА**

We propose a method for graphs check the route inference network of rules to multidimensional information space of information and control systems for special purposes in order to ensure their survivability.

*Keywords:* information and control systems, quantum graphs method, the minimum cut, edges, vertices, route inference.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Інформаційно-управляюча система спеціального призначення (ІУССпП) – як обчислювальна система автоматизації контролю та управління в складній технічній системі деяким реальним об'єктом у визначеній предметній чи відомчій області [1], володіє різноманітними властивостями.

Насамперед, до таких властивостей ІУССпП відноситься живучість, під якою розуміється властивість системи зберігати та відновлювати виконання основних функцій в заданому обсязі та протягом виділеного інтервалу часу в разі зміни структури та/чи алгоритмів її функціонування, в наслідок несприятливих впливів (НВ) [2].

Живучість являється фундаментальною властивістю складних систем. Живучі системи здатні постійно підтримувати виконання основних своїх