

УДК 681.3-192

Сергій Миколайович Неділько

## ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Особливістю розвитку сучасних систем управління повітряним рухом є оптимізація їх характеристик за критерієм забезпечення максимальної ефективності. Оскільки оптимізація означає пошук найкращого або хоча б кращого варіанта, то для її здійснення необхідно мати критерій, що відображає ефект від створення й використання техніки. Цей критерій повинен дозволяти оцінити й порівняти всі наслідки створення й використання техніки, які виявляються в тактико-техніко-економічних характеристиках систем. Вибір критерію оцінки оптимальності набуває особливої актуальності у разі застосування такої складної системи як автоматизована система управління повітряним рухом (АСУПР). Складність АСУПР, насиченість різноманітними за призначенням, принципом дії й конструктивним виконанням комплектуючих підсистем та елементів із різними показниками якості викликають серйозні труднощі в оцінюванні її ефективності.

*Мета статті* — розглянути підходи до проблеми забезпечення функціональної стійкості автоматизованих систем управління повітряним рухом.

Відомо, що кількісно критерії порівняння варіантів технічних рішень, застосовуваних у процесі створення й експлуатації, і є показниками ефективності. Ці показники зазвичай відображають як позитивні, так і негативні властивості й дозволяють робити висновки про ефективність системи. Поряд із широким тлумаченням терміна “ефективність” застосовується й більш вузьке, коли як ефективність розуміють тільки позитивний, звісно технічний результат. У ряді робіт під час порівняння варіантів технічних рішень застосовують комплексні показники, наприклад “ефективність — вартість” або “ефективність — вартість — час” [1, 2]. У зв'язку з тим, що структура комплексних показників досить різноманітна й вони можуть містити, крім міри відповідності своєму призначенню, ще і вартість та інші, різні за своїм змістом показники, тоді найчастіше ефективність визначають як міру доцільності вибору

певного технічного рішення, що обумовлює характеристики складної системи під час проектування або метод її застосування у процесі експлуатації. Інакше кажучи, як ефективність складної системи, як правило, розуміють ступінь її пристосованості виконувати ті функції, заради яких вона створена. Показниками ефективності можуть бути різноманітні величини. Вибір показника визначається пріоритетом цілей створення системи. Під час створення системи намагаються врахувати по можливості всі критерії ефективності. Різноманіття критеріїв часто призводить до протиріччя між ними. У цьому разі рішення, що задовольняє всі критерії, є компромісним варіантом. Яким же повинен бути вигляд складної й дорогої системи, якою є система управління повітряним рухом, щоб про неї можна було сказати, що вона створена *якнайкраще*? Розглянемо основні критерії й показники ефективності складних систем, що повною мірою стосуються АСУПР.

Для авіаційних, космічних та деяких інших складних систем, функціонування яких пов'язане з певним ризиком для життя людей, мабуть, найбільш значущими є показники критерію “максимальна безпека для життя людей”, наприклад, імовірність виконання завдання без аварій і катастроф. Це перша група показників. До другої групи належать ті показники, які безпосередньо характеризують якість функціонування без урахування можливих позаплатних ситуацій, наприклад, швидкість, висота, точність, швидкодія, дальність, маса і т. д. Часто їх називають *тактико-технічними характеристиками* системи. У третю групу виділимо показники, що характеризують систему у процесі експлуатації під впливом потоку відмов. Мова йде про показники *надійності*. Заходи для підвищення надійності системи зменшують кількість відмов, підвищують довговічність і ремонтпридатність системи. Бажання зберегти систему функціонуючою, нехай і з погіршенням деяких характеристик у результаті локальних відмов, привело до формування четвертої групи показників — показників *відмовостійкості* [2]. Показники третьої та

четвертої груп орієнтовані на відмови, викликані конструктивно-виробничими недоліками, старінням і виходом за межі експлуатаційних режимів, тобто причинами, не пов'язаними з бойовими або іншими випадковими uszkodженнями. Щоб оцінити здатність системи функціонувати, хоча й з гіршою якістю через uszkodження, використовують показники *живучості*, які умовно зарахуємо до п'ятої групи. До шостої групи показників ефективності належать показники, що характеризують властивість *функціональної стійкості* системи.

В [1] професор Машков О. А. вперше ввів поняття функціональної стійкості динамічної системи "як властивості системи, що полягає в здатності виконувати хоча б установлений мінімальний обсяг своїх функцій у разі відмов в інформаційній, обчислювальній і енергетичній частинах системи, а також вплив зовнішніх дій, які передбачені умовами". Фактично функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості надійності (безвідмовності), відмовостійкості й живучості. Показники функціональної стійкості відображають результат стратегії її забезпечення через перерозподіл існуючої надмірності або ресурсів у позаштатних ситуаціях і безпосередньо впливають на побудову системи. Функціональна стійкість складної системи може бути розглянута як властивість системи успішно завершити завдання у разі регламентованої кількості змін у стані самої системи, тобто збереження її працездатності після прояву в ній припустимої кількості відмов і впливу зовнішніх збурень.

Реалізації функціональної стійкості досягають керуванням у складній технічній системі різними, вже існуючими видами надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної і т.д.) через перерозподіл ресурсів з метою запобігання наслідкам позаштатних ситуацій. Особливу увагу варто звернути на те, що на етапі проектування не потрібно вводити надмірність, а наслідки позаштатних ситуацій виключити перерозподіляючи уже існуючі ресурси. Проблема полягає у виявленні існуючої надмірності і формуванні сигналів у потрібний момент на її перерозподіл. У цьому є принципова відмінність завдання забезпечення функціональної стійкості від завдання побудови структурно надлишкових систем. Наслідки зовнішніх впливів, передбачених умовами, функціонально стійка система виключає в 3 етапи [1]: виявляє; розпізнає; парире позаштатні ситуації.

Виявлення залежить в основному від ступеня виразності так званого "приваблюючого ефекту". При добре вираженому приваблюючому ефекті ситуація відразу повертає до себе увагу. Відмови із середнім приваблюючим ефектом знаходять, як правило, порівнюючи задані параметри, що характеризують рух, із дійсними параметрами. Наприкл-

ад, відмова датчика первинної інформації в контурі управління спричиняє зміну траєкторії літального апарата. Відмови з низьким приваблюючим ефектом виявляють тільки порівнянням стану декількох вимірювальних, обчислювальних, виконавчих систем. Процес *розпізнавання* відмов визначається наявністю або відсутністю конкретної інформації про їх виникнення. Етап *парирування* наслідків позаштатних ситуацій полягає у формуванні і впливі на систему так званого *відновлюючого управління*. Як відновлююче управління розуміють управління, що парире наслідки відмов, збоїв, руйнувань, а також інших зовнішніх дестабілізуючих впливів, передбачених умовами, щоб зберегти (хоч і з деяким погіршенням) основні функції системи через перерозподіл надмірності [1].

Таким чином, функціональної стійкості як властивості складної системи досягають перерозподілом деякої існуючої в системі надмірності з метою виключення наслідків позаштатних ситуацій. Заходи, спрямовані на забезпечення або підвищення функціональної стійкості, у першу чергу забезпечують поліпшення характеристик відмовостійкості та живучості, але не обов'язково показників надійності окремих комплектуючих елементів і виробів, а також тактико-технічних характеристик системи. Теорія функціональної стійкості перебуває в стадії розвитку, і на наш погляд, формування показників функціональної стійкості як показників ефективності складних систем є важливим напрямком наукових досліджень.

Звернемо увагу на те, що існує множина визначень терміна "стійкість". Визначення стійкості можна поділити на дві категорії. До першої належать визначення, які характеризують поведінку кожної окремої траєкторії, до другої — визначення, що характеризують поведінку траєкторії у зв'язку з поведінкою "сусідніх" траєкторій [2]. Нині більшість результатів теорії стійкості належить до систем з математичними моделями у вигляді звичайних диференціальних рівнянь. Аналіз показав наявність різних тенденцій у дослідженнях стійкості стосовно детермінованих систем, або стохастичних, у яких незбурений рух є детермінованим. Таким чином, на практиці ці поняття застосовують під час досліджень систем, у яких випадковими чинниками можна зневажити або вони мають характер "малої" перешкоди, як, наприклад, у багатьох системах автоматичного регулювання [3].

Зовсім інакшскладається ситуація під час дослідження складних систем. У цих системах, як писав Л. Я. Хінчін [2], "елементи випадковості аж ніяк не мають характеру невеликих "збурювань", що порушують собою плавний і закономірний хід явища; навпаки, вони являють собою основну рису в картині досліджуваних процесів". Під час дослідження стійкості цю специфіку необхідно враховувати насамперед. Взагалі визначення й вив-

чення стійкості функціонування математичних моделей реальних систем можливе лише після вивчення особливостей конкретної моделі та усвідомлення її призначення. Це ж стосується вивчення стійкості динамічних систем, описуваних звичайними диференціальними рівняннями.

Залежно від розв'язуваної задачі та призначення системи застосовують різні варіанти понять стійкості: стійкість за Ляпуновим, стійкість за ймовірністю, практична стійкість, стійкість за Лагранжем, орбітальна стійкість і т.д. Важлива особливість стійкості полягає в тому, що це поняття належить не до розглянутого фізичного об'єкта, а тільки до якої-небудь його властивості. Так, система може бути стійка стосовно деяких збурювань у розумінні одного визначення й нестійка в розумінні іншого визначення. Так само може спостерігатися стійкість стосовно одних збурювань і нестійкість стосовно інших збурювань. У [2] розглянуті різні формулювання стійкості для складних систем і показано, що ці визначення досить далекі одне від одного. Певне визначення приймається залежно від типу досліджуваної системи й характеру поставленого завдання.

У цьому розумінні поставлення завдання забезпечення стійкості не повинне суперечити цілям побудови системи, а навпаки має бути узгоджена з ними. Разом з тим, незважаючи на всі розбіжності і своєрідність поставлення завдань щодо стійкості, між ними є багато спільного, оскільки кожне з них характеризує здатність системи зберігати певну властивість функціонування. Саме ця спільність і дозволяє говорити про дослідження стійкості як про окреме специфічне завдання, що є одним із компонентів системного підходу. У роботі [2] зроблена спроба дати визначення стійкості, що охоплює різні часткові випадки, та виявити між ними зв'язок. Це визначення має методологічне значення й використовується як база для формулювання нових окремих визначень. Однак треба наголосити, що, створюючи нові визначення стійкості, необхідно ретельно вивчати існуючі системи, їх особливості й призначення, щоб визначення було узгоджене із цілями системи й способом її функціонування. Це стосується не тільки СУПР, а й будь-якої складної технічної системи.

Проведені дослідження показали, що стійкість залежить від виду системи й того, яким чином оцінювати стійкість обраного режиму її роботи. Саме тому, крім визначення системи, потрібен критерій, що дозволяє визначити, чи істотно змінюється поведінка системи під дією збурювання. Така оцінка спирається на поняття околиці, і система вважається стійкою щодо заданої околиці, якщо при досить малих змінах умов роботи системи досить малі й зміни в її поведінці. Дотепер для різних систем і різних визначень розроблено досить багато методів аналізу стійкості, основними з них є: методи Ляпунова, Вишне-

градського, Гурвіца, Рауса, Михайлова, Найквіста, Ципкіна, Попова та ін. [2,3]. У класичній теорії стійкості розроблені критерії й ознаки, за якими можна встановити факт стійкості системи.

Під час розв'язування задач структурного й параметричного синтезу також широко застосовують поняття стійкості. При цьому, крім установа факту стійкості, визначають запас стійкості відповідно до конкретної ознаки, а також області стійкості у фазовому просторі параметрів системи. Аналіз різних понять стійкості, методів визначення стійкості показав, що класична теорія стійкості оперує в основному динамічними системами, описуваними системою диференціальних рівнянь у різних модифікаціях: лінійні, нелінійні, цифрові, стохастичні, адаптивні, оптимальні та інші системи. Однак проблема забезпечення стійкості складних організаційних систем, до класу яких належить система управління повітряним рухом, на сьогодні залишається невирішеною.

Місце функціональної стійкості в системі властивостей складних технічних систем (надійність, живучість, відмовостійкість, адаптивність) визначено у [3], а також зроблено такі висновки:

- надійність системи полягає у збереженні в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування й транспортування у разі експлуатаційних відмов, викликаних фізичним старінням, конструктивно-виробничими недоліками; надійність забезпечується застосуванням високонадійної елементної бази й системи технічного обслуговування;
- відмовостійкість полягає у збереженні працездатності системи в цілому із заданою якістю у разі експлуатаційних відмов і збоїв в елементах системи; відмовостійкість забезпечується застосуванням всіх видів резерву, можливістю деградації системи до заданого рівня;
- живучість полягає у здатності системи протидіяти зовнішнім впливам і бойовим ушкодженням, зберігаючи обмежену працездатність; живучість забезпечується заходами захисту від протидії противника й зовнішніх впливів;
- адаптивність полягає у збереженні деякої частини системи у разі зміни множини параметрів, що дозволяє оптимальним чином досягти визначеної мети.

Слід зазначити, що окремо жодна із цих властивостей не відображає того, що розуміють як функціональну стійкість системи, і всі в комплексі вони також не можуть її характеризувати, оскільки не відображають одночасно активних властивостей функціональної стійкості.

Отже, здатність АСУПР виконувати необхідні функції у разі зовнішніх і внутрішніх

впливів, вибирати оптимальний режим функціонування за рахунок власних внутрішніх ресурсів, перебудови структури, зміни функцій окремих підсистем та їх поведіння характеризується властивістю функціональної стійкості. Основною особливістю функціонально стійкої АСУПР є її здатність деградувати на структурному рівні до повної відмови системи, тобто виключати із системи елементи, що відмовили, перебудовувати структуру, налаштовувати параметри системи для пристосування до нових умов експлуатації. Теорія синтезу функціонально стійких складних технічних систем розроблена для динамічних [1], розподілених інформаційних [3], псевдосупутникових радіонавігаційних систем [4], але не може бути застосована з ряду причин для забезпечення цієї вла-

стивості АСУПР. Таким чином, розроблення теорії побудови функціонально стійкої автоматизованої системи управління повітряним рухом є актуальним напрямком наукових досліджень.

## Література

1. Артюшин Л. М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л. М. Артюшин, О. А. Машков. — К. : КВВАИУ, 1991. — 89 с.
2. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. — М. : Сов. радио, 1978. — 440 с.
3. Барабаш О. В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О. В. Барабаш. — К. : НАОУ, 2004. — 226 с.
4. Кравченко Ю. В. Методология многокритериальной дискретной оптимизации сложных технических систем на матроидных структурах / Ю. В. Кравченко, В. В. Афанасьев // 36. наук. пр. ПІМЕ ім. Г. С. Пухова. — К. : ПІМЕ ім. Г. С. Пухова. — Вип. 22-1. — 2003. — С. 73—78.

В статье рассмотрены подходы к проблеме обеспечения функциональной устойчивости автоматизированных систем управления воздушным движением.

*Ключевые слова:* автоматизированная система управления воздушным движением, функциональная устойчивость сложных систем.

The article highlights the approaches and problems of securing of functional stability for automated air traffic control systems.

*Key words:* automated air traffic control system, functional stability of complex systems.