

ДИАГНОСТИЧЕН МЕТОД ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНО УСТОЙЧИВИ ДИНАМИЧНИ СИСТЕМИ

Филип Илиев, Радостина Христова

fgi@mail.bg, adi_veni@mail.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“

София, ул. „Гео Милев № 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: диагностика на автономни технически системи, надеждност, функционална устойчивост на динамични системи

Резюме: Комплексът от изследвания в областта на функционално устойчивите технически системи е свързан с разработването и развитието в нашето съвремие на сложни, автономни технически системи, функциониращи в екстремални условия – преди всичко авиационно-космически и ракетно-ударни системи. Тяхната висока цена и потенциална опасност изискват осигуряване на съответно ниво на надеждност и безопасност на функционирането им. При това традиционните методи, основани на многократно резервиране, въвеждане на системи за вграден контрол и на елементи с повишено ниво на надеждност могат да влошат технико-икономическите характеристики на проектираните системи, отличаващи се с високи изисквания към тегло и габарити, без да доведат до нужното намаляване на вероятността за възникване на опасни ситуации.

В настоящата статия се предлага и обосновава структура на адаптивна система за автоматично управление с идентификация на динамичните характеристики, използваща комбиниран принцип на управление: адаптивно управление, относително плавно изменение на параметрите вследствие наличие на параметрични смущения и изменение на структурата на управляващата част на системата при скокообразно изменение на параметрите вследствие откази на отделните подсистеми.

ВЪВЕДЕНИЕ

В началото на XXI век възниква нова проблемна ситуация в техническата диагностика във връзка с разработването на сложни автономни технически системи, функциониращи в екстремални условия – преди всичко авиационно-космически и ракетно-космически системи. Тяхната висока стойност и потенциална опасност са изисквали осигуряването на съответното ниво на надеждност и безопасност на функционирането им. При това, традиционните методи, основани на многократно резервиране, въвеждане на системи за вграден контрол и на елементи с повишено ниво на надеждността, са влошавали технико-икономическите характеристики на проектираните системи, без да доведат до нужното намаляване на вероятността за възникване на опасни ситуации. Необходимостта от въвеждането на допълнителен апаратен излишък за осигуряването на надеждността на системата се е превърнало в

принципно ограничение на дадения подход. Било е предложено състоянията на системата, предизвикани от откази, да се разглеждат като допустими и за тях да се формира адекватно, т.е. функционално устойчиво управление, насочено към парирание на последствията от откази и поддържане изпълнението на функциите на системата. Чрез това управление се осигурява преразпределение на ресурсите на системата за достигане на основната цел, даже в условия на откази.

Съгласно [1], под функционална устойчивост на системата се разбира нейното свойство да запазва в продължение на зададен интервал от време изпълнението на своите основни функции в граници, установени от нормативните изисквания, в условия на противодействие, неизправности, откази и външни дестабилизиращи фактори. В публикации [1] е анализирана връзката на понятието „функционална устойчивост” с понятията „надеждност” и „отказоустойчивост”. Съгласно тези публикации, принципното различие между тях се свежда до следното: методите за осигуряване на функционална устойчивост са насочени не към намаляване количеството на откази (например традиционните методи за повишаване на надеждността, (отказоустойчивостта на техническите системи), а към осигуряването на изпълнението на най-съществените функции, когато тези откази са настъпили. Под отказоустойчивост в настоящата работа се разбира способността на системата да изпълнява своите функции и след възникване на неизправности, възможно и с влошени характеристики. Нарушаването на функционирането на системата може да бъде предизвикано по редица причини: такива като откази на отделни елементи на системата, водещи до скокообразно изменение на нейните динамични свойства, на характеристиките на канала за измерване, случайни пропадания на информационните сигнали в контура за управление или поява на аномални измервания, откази в управляващия процесор, водещи до изкривяване на обработваните данни или грешно изпълнение на част от алгоритъма и т.н.

Под функционален контрол на техническото състояние на дискретна динамична система (ДС) се разбира определянето на вида техническо състояние, осъществявано по време на функционирането на системата, на която постъпват само работните въздействия. Функционалното диагностициране – това е процесът на определяне на техническото състояние с определена точност, когато на ИС също така постъпват само работни въздействия. Безспорен е факта, че въпросите за диагностициране на ДИС са били и остават актуални във връзка с повишаване на изискванията за надеждност на такива системи и усложняването на самите системи. Настоятелната необходимост за решаването на диагностични задачи е намерила отражение в нарастващия брой публикации по тези проблеми и появата на обзори, систематизиращи тези резултати. Обаче трябва да се подчертае, че само по себе си решаването на една или друга диагностична задача още не гарантира неговото ефективно практическо приложение, за целите на което това решение трябва да бъде относително просто и лесно реализуемо на практика. Така например, задачата за функционално диагностициране и контрол на параметрите на ДС има два основни пътя за решаване. Първият се основава на методите за оперативна идентификация, втория – на методите на теорията на инвариантността [1,3]. Обаче, тези методи макар и използвани за решаването на редица диагностични задачи, трудно се прилагат по отношение на класа многомерни системи, каквито по правило са съвременните цифрови системи за връзка и управление.

ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

Важно място в общия проблем за изграждане на функционално устойчиви системи заема проблемът за идентификация на динамичните им характеристики. Познаването на текущата информация за динамичното състояние на функциониращата система позволява, от една страна да се организира оптимално управление с адаптация

към изменящите се външни условия, и от друга – да се приемат своевременни и правилни решения при възникване на откази в системата.

В настоящата статия се предлага структура на адаптивна система за автоматично управление с идентификация на динамичните характеристики, използвайки комбиниран принцип на управление: адаптивно управление при относително бавно изменение на параметрите вследствие на параметрични смущения, и изменение на структурата на управляващата част на системата при скокообразно изменение на параметрите вследствие на откази на отделни подсистеми.

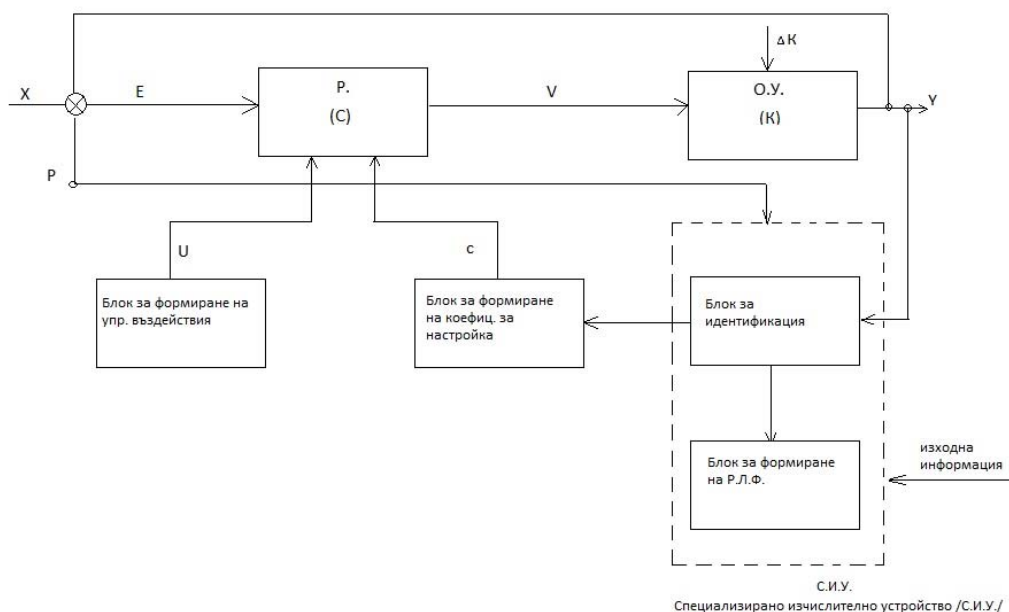
Структурата на подобна система за автоматично управление (САУ), от гледна точка на нейното построяване притежава двунивова йерархия. Долното ниво е оборудвано от управляващата част на САУ, горното – от координатор, изменящ структурата на управляващата част при наличие на откази или пренастройване нейните параметри при въздействие на параметрични смущения върху обекта на управление.

Диагностиката на откази, осъществявана от координаторът, позволява да се включват допълнителни елементи или подсистеми в схемата на управляващата част на САУ, или да се формира нова структура чрез превключване на изправни подсистеми [1,2].

При построяването на подобни САУ възниква задачата за определяне и обосноваване на такива методи за идентификация, позволяващи освен оценка на текущото състояние на функциониращата система, да се осъществява достоверна и своевременна диагностика на възможни откази. Такива свойства притежават активните статистически методи за идентификация на динамичните характеристики с използване на псевдослучайни тестващи сигнали с оптимални параметри и ограничена интензивност, позволяваща да не се нарушава режима на нормалното функциониране на системата [4]. С оглед опростяване и ускоряване на изчислителните процедури е целесъобразно да се използват рекурсивни алгоритми за косвена оценка на динамичните характеристики – коефициентите на разлагане на времевите характеристики в ред по системата ортогонални функции на Уолш-Фурие [5].

СЪЩНОСТ НА МЕТОДА. АЛГОРИТЪМ ЗА ДИАГНОСТИЦИРАНЕ.

Обобщената структура на САУ, реализиращия предлагания подход е показана на фиг.1:



Фиг. 1 Структура на САУ

Нека $\underline{K} = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ са параметри на обекти на управление (О.У.)

$\underline{C} = (C_1, C_2, \dots, C_n)$, $n \leq m$ са пренастройваемите параметри на регулатора (Р.), компенсирани изменението на n най-съществени параметри на обекта на управление;

$\underline{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ са идентифицируемите параметри на затворената система на управление, в представения подход коефициентите на разлагане на импулсната преходна функция в ред по системата ортогонални функции на Уолш [5]. При необходимост векторното пространство на параметрите \underline{A} може да бъде разширено до размерност $/n + m/$ в съответствие с размерността на векторното пространство на параметрите на затворената система на управление. При това компонентите на вектора \underline{A} се избират в съответствие с критерия за максимална чувствителност по отношение на изменението на съответстващите параметри на затворената САУ.

Относно предлагания модел на затворената САУ са направени следните предположения:

а) идентифицируемите параметри на модела са постоянни и равни:

$$A_j(K_0, C_0) = A_{j0}, j = 1, 2, \dots, n$$

където:

$$K_0 = (K_{10}, K_{20}, \dots, K_{n0}), C_0 = (C_{10}, C_{20}, \dots, C_{n(0)});$$

б) за произволна съвкупност изменящи се параметри $\underline{K}(t)$ съществува такава съвкупност настройваеми параметри $\underline{C}(t)$, че в края на цикъла на само настройка е изпълнено $A_{j0}(\underline{K}, \underline{C}) = A_{j0}$, където $/\gamma/$ е дискретния момент на времето, съответстващ на завършването на поредния цикъл на самонастройка.

При направените предположения относно предлагания модел необходимите изменения на пренастройваемите параметри на регулатора, компенсирани изменението на параметрите на обекта, се определят от уравненията [5]:

$$\Delta \underline{A}_\gamma = \underline{B}_{\gamma-1} \Delta \underline{C}_\gamma$$

където:

$$\Delta \underline{A}_\gamma = (\Delta a_{1\gamma}, \Delta a_{2\gamma}, \dots, \Delta a_{n\gamma}),$$

$$\Delta a_{1\gamma} = a_{1\gamma} - a_{10}$$

$\Delta \underline{C}_\gamma$ – е вектор стълб на изменението на параметрите на регулатора с размерност $n \times 1$;

$\underline{B}_{\gamma-1} = (b_{ij})$ – е матрица с размерност \underline{B} са функции на $K_{\gamma-1}, C_{\gamma-1}$ и се изчисляват в края на предишния $(\gamma-1)$ цикъл на самонастройка.

Пренастройваемите параметри на регулатора се определят съгласно отношението:

$$\underline{C}_\gamma = \underline{C}_{\gamma-1} + \Delta \underline{C}_\gamma$$

По този начин, състоянието на САУ се описва чрез вектора на идентифицируемите параметри, които непрекъснато се изменя при наличие на параметрични смущения, а също може да претърпи скокообразно изменение вследствие

на възможни откази в отделните подсистеми. При това задачата за класификация на състоянията на системата може да бъде формулирана чрез термините на теорията на разпознаване на образи: необходимо е да се отнесе предявявана съвкупност идентифицируеми параметри към една от предварително установени диагнози (състояния). Множеството от състояния на диагностицираната система R се разбива в ред подмножества Q_i : Q_0 – множество от състояние, съответстващо на изправна система; Q_i , $i = 1, 2, \dots, N$ – множество от състояние, съответстващо на неисправна система, неисправността на която е предизвикана от отказ на i -тата подсистема. Диагностиката се осъществява по разстоянието на текущия вектор \underline{A} до векторите, съответстващи на множествата A_{Q_0} , A_{Q_i} или по разстояние до еталоните $A^*_{Q_0}$, $A^*_{Q_i}$, координатите на които са равни на средните стойности на координатите, принадлежащи на даденото множество. При този подход всички решения по управлението на един или друг тип откази трябва да бъдат предварително предвидени. Етапа на проектиране на разгледания клас системи завършва с процес на обучение на координатора. При това трябва да се уточнят въпросите за избор на най-информативните идентифицируеми параметри и техния порядък, въпросите за координиране на компонентите на вектора на идентифицируемите параметри с цел формирането на решаваща логическа функция (Р.Л.Ф.).

Двете задачи – само настройване и контрол на състоянието на системата, осъществени от координатора, могат да се решат в рамките на едно специализирано изчислително устройство специализиран микропроцесор (контролер) фиг.1.

Алгоритмът за диагностициране, осъществяван от контролера предполага следната последователност от изпълнение на операциите:

1. Периодично измерване на компонентите на вектора на идентифицируемите параметри \underline{A} ;
2. Класификация на състоянията на системата (формиране на Р.Л.Ф.);
3. Формиране на сигналите за само настройка \underline{C} при отсъствие на откази в системата;
4. При наличие на неисправности и откази се формира вектора на управляващите въздействия \underline{U} с бинарни компоненти (0, 1), осъществяващ превключвания в управляващата част на САУ;
5. Разгледания в настоящата статия подход е особено ефективен при построяване на многопроцесорни системи за управление с високи изисквания към надеждността и качеството на функциониране. Цифровият регулатор е с излишък в смисъл на възможности за изменение на структурата на системата за управление за сметка на връзките между входните устройства, процесорите, елементите на паметта и изходните устройства. Координатора и управляващата част се изпълняват във вида на микропроцесорен управляващ комплекс [2,4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарастващата сложност на техническите системи, безкомпромисните изисквания към тяхната безопасност, безотказност и дълговечност поставят с изключителна актуалност решаването на задачи, свързани с разработването и създаването на нови посъвършени системи за техническа диагностика. Решаването на тези задачи е невъзможно без изучаване и по нататъшното развитие на апарата на теорията за разпознаване на образи.

В настоящата статия е предложена и обоснована структура на адаптивна система за автоматично управление с идентификация на динамичните характеристики, използваща комбиниран принцип на управление: адаптивно управление, относително плавно изменение на параметрите вследствие наличие на параметрични смущения и

изменение на структурата на управляващата част на системата при скокообразно изменение на параметрите вследствие откази на отделните подсистеми. Същата се базира на активен статистически метод за идентификация на динамичните характеристики с използване на псевдослучайни тестващи сигнали с ограничена интензивност, ненарушаващи режима на нормално функциониране на системата.

Предложен е рекурсивен алгоритъм за косвена оценка на динамичните характеристики на системата – коефициентите на разлагане на времевите характеристики в ред по системата ортогонални функции на Уолш.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект ФНИ №КП – 06/Н27/11.12.2018г. в рамките на присъщата на ИКИТ-БАН научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Андонов А., З. Хубенова, Функционална устойчивост на информационно-управляващи комплекси в критични приложения. София, ВТУ, 2011г. ISBN 954-12-0092
- [2] Бек В., Интегрированные системы терминального управления. М.Наука, 1999
- [3] Хубенова З., Системно-информационен анализ на човешкия фактор в сложни технически системи. Университетско издателство „Св. Кл. Охридски“ – София, 2021
- [4] Astrom K., Computer Controlled Systems, Prentice – Hall, 2004
- [5] Andonov A., Stefanova I., A method of failure identification and diagnostics for use with systems for adoptive control through the application of the functions of Walsh. Journal scientific and applied research, vol.1, 2012, ISSN 1314-6289

DIAGNOSTIC METHOD FOR BUILDING FUNCTIONALLY SUSTAINABLE DYNAMIC SYSTEMS

Filip Iliev, Radostina Hristova
fgi@mail.bg, adi_veni@mail.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Keywords: *diagnostics of autonomous technical systems, reliability, functional stability of dynamic systems.*

Abstract: *The complex of research in the field of functionally sustainable technical systems is related to design and development in our time of complex, autonomous technical systems operating in extreme conditions – primarily aerospace and missile-strike systems. Their high cost and potential danger require ensuring an appropriate level of reliability and safety of their operation. In addition, traditional methods based on multiple redundancy, introducing systems for built-in control and of elements with an increased level of reliability can degrade the technical-economic characteristics of the designed systems, characterized by high requirements for weight and dimensions, without leading to the necessary reduction the probability of dangerous situations.*

In the article proposes and substantiates the structure of an adaptive system for automatic control with identification of dynamic characteristics, using a combined control principle: adaptive control, relatively smooth change of parameters due to parametric disturbances and change of the control structure of the system in hopping change of parameters due to failures of the individual subsystems.