

S.H. SIMONYAN, A.A. AYVAZYAN

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR SOLVING SYLVESTER TYPE  $A(t)X(t)+X(t)B(t)=C(t)$  ONE-PARAMETRIC MATRIX EQUATIONS**

The comparative characteristics of the methods for solving continuous one-parameter Sylvester-type matrix equations are analyzed: The method of frozen coefficients (FC using Newton interpolation), as well as the parallel and serial numerical-analytical methods based on the differential transformations. The analysis is carried out by three main parameters- the working time of the methods, the memory usage and the number of function calls.

**Keywords:** comparative analysis, one parametric Sylvester type matrix continuous equation, frozen coefficient method, Newton's interpolation, differential transformations, sequential and parallel numerical- analytical methods.

ՀՏԴ 681.5.09

**Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Լ.Մ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ**

**ՓՈՔՐ ԱՆՕԴԱԶՈՒԹՈՂՈՂ ՍԱՐՔԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԽԱՓԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՏԵՍԱԿՆԵՐԸ, ԴՐԱՆՑ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ**

Ուսումնասիրել են փոքր անօդաչու թռչող սարքերի խափանակայուն կառավարման համակարգերը (ԽԿՀ) և խափանումների հայտնաբերումն ու ախտորոշումը: Ներկայացվում են տարբեր տիպի խափանումների և ձախողումների տեսակները, որոնք կարող են առաջանալ համակարգի շարժիչների և տվիչների վրա:

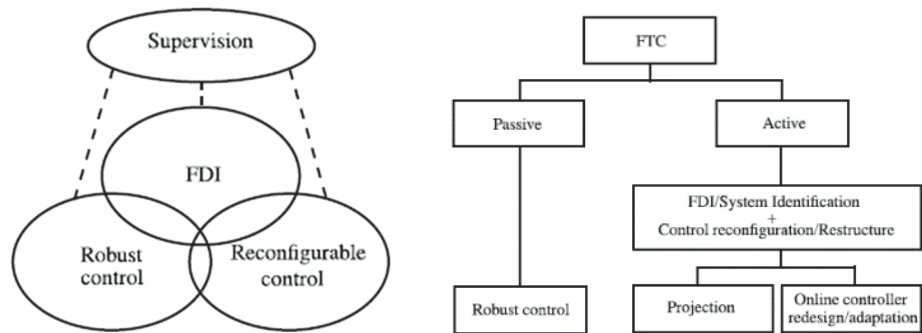
**Առանցքային բառեր.** անօդաչու թռչող սարք, խափանում, ձախողում, խափանումների հայտնաբերում և ախտորոշում, խափանակայունության կառավարում:

**Ներածություն:** Երբ համակարգի մեջ առաջանում են խափանումներ, համակարգի հիմնական խնդիրն է դառնում հնարավորինս շուտ տեղեկացնել, հստակորեն ախտորոշել և որոշել, թե ինչպես կարելի է հաղթահարել առաջացած խափանումները: Խափանման հայտնաբերումը, աղբյուրը գտնելը և հետագա համապատասխան գործողությունները ԽԿՀ-ի կառավարման հիմքն են:

**Խափանումներ և ձախողումներ:** Խափանումը կարելի է սահմանել որպես որևէ բնութագրիչ հատկության կամ համակարգի առանձին պարամետրի անթույլատրելի շեղում իր ստանդարտ վիճակից: Ձախողումը համակարգին առաջադրված գործառնության համաձայն սահմանված աշխատանքային պայմանների, կատարման ունակության մշտական ընդհատումն է: Այսպիսի անսարքություններ կարող են առաջանալ կառավարման օբյեկտների, տվիչների, շարժիչների

կամ այլ սարքերի առանձին մասերում՝ բացասաբար ազդելով համակարգի տեղային կամ ամբողջական աշխատանքի վրա: Երբ շարժիչի վրա խափանում է առաջանում, այն շարունակում է աշխատել, բայց ավելի թույլ և պակաս արդյունավետությամբ: Իսկ ձախողման դեպքում խափանված սարքը կամ բաղադրիչը փոխելու կարիք է լինում: Օդային համակարգերում հայտնի են շարժիչների ձախողումների մի քանի տեսակներ: Դրանցից ամենատարածվածներն են փակ (կարող է առաջանալ շարժիչի մաշվածության հետևանքով) և լողացող կետերի ձախողումները:

Հարկ է նշել, որ խափանումները և ձախողումները կարելի է դասակարգել ըստ ժամանակի: Կտրուկ խափանումները կամ ձախողումներն առաջանում են հանկարծակի և անսպասելիորեն, ու սովորաբար հեշտ նկատելի են լինում: Հապաղող խափանումները, օրինակ, տվիչի դանդաղ շեղումը (դրեյֆ), ավելի թույլ են լինում, և ազդեցությունն ակնհայտ չի երևում: Այնուամենայնիվ, եթե հապաղող խափանումները երկար ժամանակ անտեսվեն, կարող են ոչ ցանկալի ազդեցություն թողնել համակարգի պահանջվող աշխատանքի վրա, որն էլ իր հերթին առաջ կբերի կտրուկ և աղետալի հետևանքներ: Գրականության մեջ ԽԿՀ կողմնորոշման և ուսումնասիրության աշխատանքները հիմնականում ուղղված են կրիտիկական համակարգերի, ինչպիսիք են, օրինակ, ինքնաթիռները, ապահովության խնդրի լուծմանը: Խափանակայուն կառավարումը (ԽԿԿ) երեք հիմնական ուղղությունների՝ խափանումների հայտնաբերման և մեկուսացման (ԽՀՄ), ռոբաստ և վերակառուցվող կառավարման համակարգերի բարդ համակցություն է (նկ.1):



Նկ. 1. ԽԿԿ երեք հիմնական ուղղությունները և ԽԿ-ության դասակարգումը

**ԽՀԱ, ԽԿՀ, ԽԿՈ:** Խափանումների հայտնաբերումը և ախտորոշումը (ԽՀԱ) խափանակայուն կառավարման (ԽԿԿ) կարևոր բաղադրիչն է: ԽՀԱ համակարգի առաջնային նպատակը խափանման վաղ հայտնաբերումը, մեկուսացումը և դրա առաջացրած հետևանքների կանխորոշումն է, որը հնարավորություն է տալիս ուղղել խափանումը՝ մինչև համակարգին լրացուցիչ վնաս հասցնելը և համակարգում գործողության կորուստի առաջանալը [1]:

Գործընթացների անկանոնությունները հիմնականում լինում են որպես լրացուցիչ (հավելյալ) կամ մուլտիպլիկատիվ (բազմակի) խափանումներ՝ կախված գործընթացի վրա դրանց թողած ազդեցություններից: Լրացուցիչ խափանումներն ազդում են գործընթացի վրա հիմնականում որպես անհայտ մուտքեր, մինչդեռ մուլտիպլիկատիվ խափանումները թողնում են կարևոր ազդեցություն գործընթացի դինամիկայի վրա և կարող են առաջացնել անկայուն պահվածք: Հանկարծակի խափանումները համակարգի աշխատանքի անսպասելի փոփոխություններն են, իսկ քայլ առ քայլ առաջացողները աստիճանաբար և դանդաղ ձևավորվող խափանումներն են: Անընդհատ խափանումները հանգեցնում են համակարգի վերջնական ձախողման (առաջանում են և այլևս չեն վերանում): Անկայուն (ինքնուրույն վերացող) խափանումները ժամանակավոր անսարքություններ են (առաջանում են կարճ ժամանակով և վերանում են), ընդհատվող խափանումներն անկայուն խափանումների անընդհատ առաջացումն է (առաջանում են, վերանում և կրկին անհետանում): Թաքնված խափանումներն առկա են պահուստային սարքերում և տեսանելի են միայն դրանց գործարկման դեպքում:

ԽՀԱ համակարգերի կարևոր բնութագրերն են՝ խափանման վաղ հայտնաբերում և ախտորոշում (հայտնաբերման ժամանակը պետք է հասցնել նվազագույնի), խափանումների լավ տարբերակման կարողություն, բարձր զգայնություն և կատարողականություն, հայտնաբերման մեծ հաճախություն և սխալի ահազանգման ցածր հաճախություն:

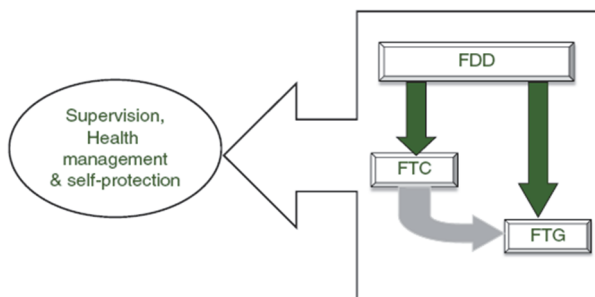
Եթե խափանումը ճշտորեն հայտնաբերվում, հաստատվում և ախտորոշվում է, վերակարգաբերման մեխանիզմը կարող է օգտագործվել խափանակալուծության հասնելու համար: ԽԿ-ուղյան առաջնային նպատակն է կանխել սխալի հաղորդումը, որը կարող է հանգեցնել վտանգավոր, աղետալի հետևանքների կամ համակարգի ոչ նորմալ աշխատանքի:

Թռչող սարքերի վերակարգաբերման և վերականգնման գործընթացը կարող է ունենալ տարբեր նպատակներ և բնութագրեր: Կառավարման տեսակետից առանձնացվում են վերակարգաբերման երկու կարևոր գործառույթ՝ ԽԿՀ և ԽԿՈ (խափանակայունության ուղղորդում): Հիմնականում ԽԿՈ-ն չի ապահովում օպտիմալ կառավարում նորմալ համակարգերի գործողությունների համար, բայց այն կարող է կոմպենսացնել համակարգի ձախողումների թողած ազդեցությունները կարգաբերման միջոցով [2]:

Իրականում անօդաչու թռչող սարքի (ԱԹՍ) պլանավորված գործողությունները կարող են օգտագործվել խափանման հայտնաբերման և հաստատման դեպքում՝ նախապես առաջադրված նպատակին վերադառնալով և առանց երկրի մակերևույթից որևէ միջամտության: ԽԿՀ-ն և ԽԿՈ-ն ապահովում և, հնարա-

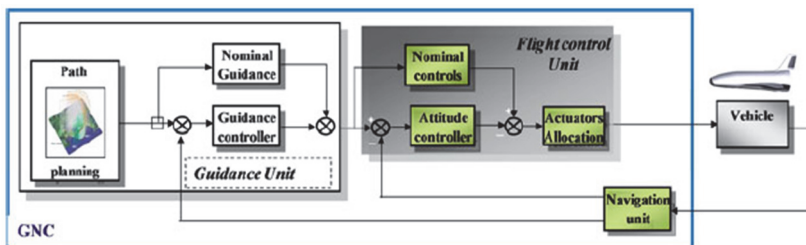
վորության դեպքում, միջոցներ են տրամադրում ԱԹՍ-երը վտանգավոր, աղետալի և անկայուն վիճակներից զերծ պահելու համար:

**ԽՀԱ, ԽԿՀ և ԽԿՈւ միջև փոխազդեցությունը:** Կառուցվածքային տեսանկյունից ԽՀԱ, ԽԿՀ և ԽԿՈւ-երի միջև կապն արտահայտվում է ըստ նկ 2.-ի: ԽԿՀ-ն հետևում է ԽՀԱ-ին և միջոցներ է տրամադրում խափանված համակարգի վերահսկումը շարունակելու համար: ԽԿՈւ-ն անհրաժեշտ է լինում այն դեպքում, երբ սարքին հասանելի կառավարման միջոցները սահմանափակ են, և ԽԿՀ-ն բավարար չէ: Ավիացիոն խնդիրների դեպքում ներկայացված գործառույթները վերաբերում են ՈւՆԿ (GNC ուղղորդում, նավիգացիա, կառավարում) համակարգին:



Նկ. 2. ԽՀԱ, ԽԿՀ և ԽԿՈւ-ների փոխազդեցությունը

Սովորաբար կառավարումն իրականացվում է երկու՝ ավտոմատ և ձեռքով կառավարվող ռեժիմներով: Ավտոմատ ռեժիմում հիմնական ծրագրով հնարավոր է ուղղորդել և կողմնորոշել ԱԹՍ-ի թռիչքը: Ձեռքով կառավարելու դեպքում անձնակազմն օգտագործում է ՈւՆԿ էկրանից ստացած տվյալները՝ կառավարման և կողմնորոշման համար: ՈւՆԿ համակարգի պարզեցված բլոկ-սխեման ներկայացված է նկ.3-ում: Օգտագործելով ԱԹՍ-ի քարշի և տարածության մեջ դիրքի տվյալները՝ ուղղորդող հանգույցը հաշվարկում է այն պահանջները, որոնք անհրաժեշտ են առաջադրված երթուղին անցնելու համար: Թռիչքը վերահսկող հանգույցը ձևավորում է շարժիչը կառավարող ազդանշան՝ սարքի շարժը կառավարելու համար:



Նկ. 3. ՈւՆԿ համակարգի պարզեցված բլոկ-սխեման

**Խափանումների և շարժիչի մոդելներ, ուսումնասիրությունը Simulink փաթեթի միջավայրերում: Շարժիչի մոդելը:** Ներկայացնենք շարժիչի մոդելը և շարժիչի խափանումների մոդելը [3]: Շարժիչի դինամիկան նկարագրվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$U = \frac{K\omega}{s+\omega} u, \quad (1)$$

որտեղ  $K$ -ն ուժեղացման գործակիցն է,  $\omega$ -ն՝ շարժիչի պարամետրը, PWM-ն՝ շարժիչի մուտքը: Այսպիսով, շարժիչի մոդելը՝ PWM-մուտքով, կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\dot{U} = -\omega U + K\omega [1 \ 1 \ 1 \ 1] \begin{bmatrix} PWM_{1t} \\ PWM_{2t} \\ PWM_{3t} \\ PWM_{4t} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

որտեղ  $PWM_{it}$ -ն PWM-ի չորս համապատասխան մուտքերն են: Պետք է նշել, որ դրոսելի կողմից տրվող սկզբնական PWM ելքերն ընդունում են 0,05 արժեքը: Հետևաբար՝ հավասարումը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$PWM_{it} = PWM_{ir} - 0.05, \quad i = 1,2,3,4, \quad (3)$$

որտեղ  $PWM_{ir}$ -ն պատկանում են (0,05; 0,1) միջակայքին և համարվում են շարժիչի իրական PWM ելքերը:

**Քառապտուտակի շարժիչի խափանումների մոդելը:** Դիտարկվող խափանումներն ներկայացնում են կառավարման արդյունավետության մասնակի կորուստ:  $l_i$ -ով կնշանակենք արդյունավետության կորուստը, որտեղ՝  $i = 1,2,3,4$ : Այդ դեպքում շարժիչի մոդելը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{aligned} \dot{U} &= -\omega U + K\omega [1 - l_1 \ 1 - l_2 \ 1 - l_3 \ 1 - l_4] \begin{bmatrix} PWM_{1t} \\ PWM_{2t} \\ PWM_{3t} \\ PWM_{4t} \end{bmatrix} = \\ &= -\omega U + K\omega [1 \ 1 \ 1 \ 1] \begin{bmatrix} PWM_{1t} \\ PWM_{2t} \\ PWM_{3t} \\ PWM_{4t} \end{bmatrix} - K\omega [PWM_{1r} \ PWM_{2r} \ PWM_{3r} \ PWM_{4r}] \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{bmatrix}; \quad (4) \end{aligned}$$

Հաշվի առնելով 4-րդ հավասարումը, մշակվել է քառապտուտակի խափանակայուն կառավարման համակարգի մոդելը Simulink փաթեթի միջավայրում:

**Եզրակացություն:** ԱԹՍ-ի խափանակայուն կառավարման համակարգի նախագծման ընթացքում կարևոր է կատարել հավանական խափանումների և ձախողումների բնույթի ուսումնասիրություն և մոդելավորել հետագա վելուծության համար:

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Halim Alwi, Christopher Edwards, Chee Pin Tan.** Fault Detection and Fault-Tolerant Control Using Sliding Modes, Advances in Industrial Control. -Springer-Verlag, London, 2011.
2. **Ali Zolghadri, David Henry, Jérôme Cieslak, Denis Efimov, Philippe Goupil.** Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control and Guidance for Aerospace Vehicles, From Theory to Application. -Springer-Verlag, London, 2014.
3. **Peng Lu, Erik-Jan van Kampen, Bin Yu.** Actuator Fault Detection and Diagnosis for Quadrotors. -Concordia University, Montreal, QC H3G 1M8, Canada 2014.

**Ա.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Լ.Մ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ**

### **ТИПЫ ОТКАЗОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ, ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Рассматриваются отказоустойчивые системы управления малыми беспилотными летательными аппаратами, а также методы обнаружения и диагностики отказов. Приведены классификации разных типов отказов и неисправностей, которые могут произойти в двигателях и датчиках системы.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, отказ, неисправность, обнаружение и диагностика отказов, отказоустойчивая система управления.

**H.G. DARBINYAN, L.M. BUNIATYAN**

### **FAULT TYPES OF CONTROL SYSTEMS OF SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLES, THEIR MODELING AND INVESTIGATION METHODS**

Fault-tolerant control systems of unmanned aerial vehicles, as well as the fault detection and diagnosis are considered. The classifications of different types of faults and failures, which can occur in actuators and sensors of the system are given.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, fault, failure, fault-tolerant control system, fault detection and diagnosis, fault-tolerant guidance.