

I.S. BAKHTIKYAN, A.H. BAGHIYAN

## DESIGNING AN EXPERIMENT OF A FRICTION MODEL DERIVATION FOR AEROSPACE APPLICATIONS

In the paper, the problem of friction model derivation and its importance for the aerospace applications are considered. A method of non-flight experimental evaluation of the relation of friction forces to the flight conditions is proposed. The mathematical basis of the experiment and the schematic representation of the stand for trials are presented. The implementation of experiments will lead to the derivation of a novel friction model which is acceptable for the aerospace applications.

**Keywords:** aircraft, Coulomb friction, friction compensation, experimental derivation.

**Introduction.** In the aerospace applications the numerous systems, conducting control or tracking contain electromechanical parts as actuators. Tracking is one of the main objectives of surveillance systems (Fig. 1 *a*) mounted on aircraft or satellites. To track objects in the surveillance systems it is required to direct the sighting line to them. A tracking system (Fig. 1 *b*) as an automatic control system, generally consists of a setting device, controller, control object, and sensor [1].

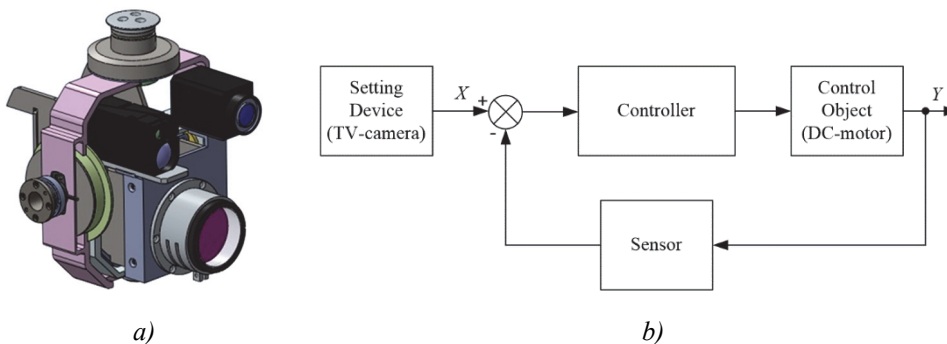


Fig. 1. Surveillance system and tracking organization

The dynamics of the control system depends on the characteristics of the control object, which is an electric motor in this case, since in the aerospace devices, as actuators, electric motors are often used [2].

The generalized forces due to friction in the mechanical actuating devices can be large even for normal (ground) conditions and can be up to 25% of the forces required for the movement of the components [3]. Therefore, friction has a significant impact on the dynamics of the whole system. The main method to

improve the accuracy of the electric motor control is the friction compensation. There are many methods for friction compensation based on different friction models [4-7]. All contemporary friction models define dependence of friction from angular velocity produced by the electric motor.

It is true for normal cases (on the ground). But there are g-loads (overloads) (Fig. 2) while flying, which define the normal reaction force in aircraft structures [8] and affect the friction forces and torques there. It means that g-loads have a significant influence on friction torques in the electric motors in flight and can lead to the uncertainties in the control plant model [9].

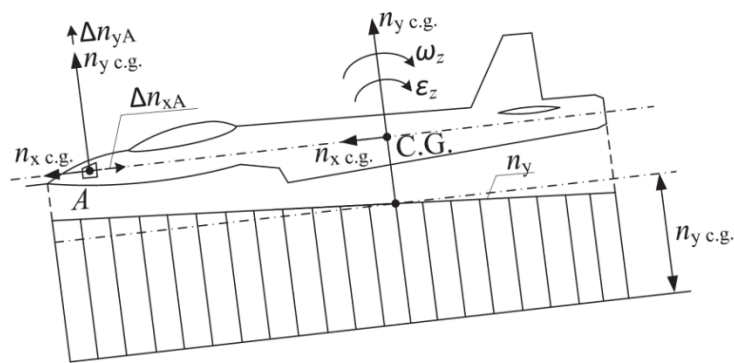


Fig. 2. G-load distribution in the maneuver of aircraft

There is not any friction model depending on g-loads now. To develop a friction model depending on g-loads, it is required to construct a trial stand. In the tests, it is possible to recreate the g-load effects based on the changes of the masses of the electric motor shafts leaving its moment of inertia constant.

On the whole, the problem of precise tracking of objects is urgent and its implementation, using a new friction model based on the dependence later from both angular velocity produced by the electric motor and acting g-loads has a valuable practical application to improve the reliability of surveillance systems for the aerospace applications.

**Mathematical basis of the non-flight experiments for the friction model derivation.** As mentioned above, the effect of g-loads during the flight is expressed by the changes in the reaction forces between the contacting surfaces which lead to the variations in the friction forces. As we consider the electric motor-based rotating actuators, it is meaningful to analyze the effects of the g-loads on the frictional torques. To have a similar to the g-loads effect in the non-flight situation for rotating surfaces, it is possible to keep their inertia moments as constants, changing their masses which will variate the reaction forces without affecting their rotational parameters.

Let's consider the cylinder as the most gear systems are based on the cylindrical elements. The axial moment of inertia of a cylinder (Fig. 3) is expressed by the formula [10]:

$$J_z = \frac{1}{2}mr^2,$$

where  $m = \rho\pi r^2 h$  is the mass of the cylinder,  $\rho$  is the density of the material of the cylinder,  $r$  is the radius of the cylinder,  $h$  is the height of the cylinder.

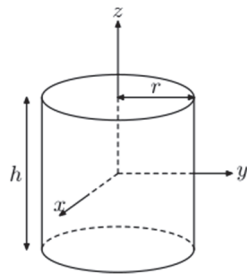


Fig. 3. Definition of the axial moment of inertia of the cylinder

To have the conditions of the same axial moment of inertia with different masses, let's consider two cylinders – one with the mass  $m = \rho\pi r^2 h$  and moment of inertia  $J_z = 0.5mr^2$ , and the second with the mass  $m_1 = \rho_1\pi r_1^2 h_1$ ,  $k$  times greater than  $m$  ( $m_1 = km$ ), and the same inertia moment  $J_{z_1} = 0.5m_1 r_1^2 = J_z$ .

From the relation of masses of the cylinders we can obtain:

$$\frac{r_1^2}{r^2} = \frac{k\rho h}{\rho_1 h_1}. \quad (1)$$

From the equality of the axial moments of inertia of the cylinders we can derive:

$$\frac{r_1^4}{r^4} = \frac{\rho h}{\rho_1 h_1}. \quad (2)$$

Based on expressions (1) and (2), we can write the formula for the coefficient  $k$  :

$$k = \sqrt{\frac{\rho_1 h_1}{\rho h}}. \quad (3)$$

Thus, based on the desired coefficient of the mass relations we can get two cylinders with the same moment of inertia by the variations of their material density and height. The coefficient  $k$  can be interpreted as the expression of the g-load in the non-flight conditions.

**Experiment description.** The basis of the experiment is the construction of a trial stand (Fig. 4 a) to the test numerous varieties of the electric motors with shafts of different mass and the same moment of inertia.

To construct shafts with different masses and the same moment of inertia, it is required to calculate the characteristics of each shaft based on the formula (3) (Fig. 4 b).

The normal reaction forces on the motor defined by a g-load in this case will be calculated by the ratio  $k$  of masses.

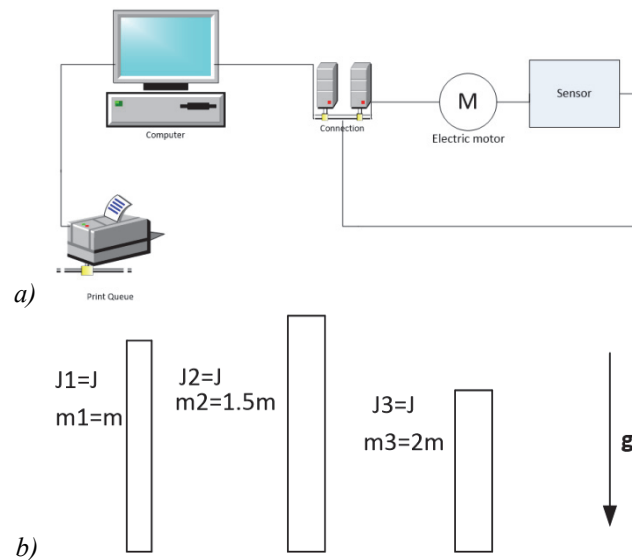


Fig. 4. Diagrams of the trial stand and shafts for the experiments

After trial stand construction tests will be carried out on the electric motors to derive the influence of the g-loads on the generalized friction forces and create a novel model of friction acceptable for aerospace applications.

**Conclusion.** The proposed experiment will lead to the derivation of the novel model for the generalized friction forces, taking into account the angular velocities produced by the electric motors and acting g-loads in the flight. This would allow creating new friction compensation methods to improve the accuracy of control and tracking systems used in the aerospace.

## REFERENCES

1. **Skogestad S., Postlethwait I.** Multivariable Feedback Control: Analysis and Design. – John Wiley and Sons, 2005. – 592 p.
2. **Kazakov I.Y., Isayev V.N.** Fundamentals of Automatic Control Systems of Aircraft Armament. – Zhukovsky Air Force Engineering Academy Press, 1991. – 332 p.
3. **Craig J.J.** Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – Prentice Hall, 2005. – 408 p.
4. **Canudas C., Astrom K.J.** Adaptive Friction Compensation in DC-Motor Drives // IEEE Journal of Robotics and Automation. – 1987. – Vol. RA-3, No. 6. – P. 681-685.
5. **Li Z., Chen J., Zhang G., Gan M.** Adaptive Robust Control of Servo Mechanisms with Compensation for Nonlinearly Parameterized Dynamic Friction // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2013. – Vol. 21, No. 1. – P. 194-202.
6. **Armstrong-Helouvry B., Dupont P., Canudas C.** A Survey of Models, Analysis Tools and Compensation Methods for the Control of Machines with Friction // Automatica. – 1994. – Vol. 30, No. 7. – P. 1083-1138.
7. **Ollson H., Astrom K.J., Canudas C., Gafvert M., Lischinsky P.** Friction Models and Friction Compensation // European Journal of Control. – 1998. – No.4. – P.176-195.
8. **Aircraft Structure and Toughness** /Ed. O.V. Bolkhovitinov. – Zhukovsky Air Force Engineering Academy Press, 2004. – 678 p.
9. **Baghiyan A.H.** On the Uncertainties in Dynamics of the Ground Target Tracking Systems from Aircraft // Proceedings of NAS RA and SEUA. Series of Technical Sciences. – 2014. – Vol. 67, No. 2. – P. 244-253.
10. **Targ S.M.** A Short Course in Theoretical Mechanics. – Vysshaya Shkola, 2010. - 416 p.

### Ի.Ս. ԲԱԽՏԻԿՅԱՆ, Ա.Հ. ԲԱՂԻՅԱՆ

#### ԱՎԻԱՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՇՓՄԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԳԻՏԱՓՈՐՁԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Գիտարկված են շփման մոդելների դուրսբերման խնդիրները և դրանց կարևորությունը ավիատիեզերական կիրառություններում: Առաջարկված է շփման ուժերի թռիչքային պայմաններից կախման գնահատման փորձարարական մեթոդ՝ առանց թռիչքների իրականացման: Ներկայացված են գիտափորձի մաթեմատիկական հիմքերը և դրա իրականացման ստենդի գծապատկերը: Գիտափորձի իրականացումը կհանգեցնի ավիատիեզերական կիրառություններում ընդունելի շփման ուժերի նոր մոդելի ստացմանը:

**Առանցքային բառեր.** թռչող սարքեր, չոր շփում, շփման ազդազերծում, փորձարարական արտածում:

И.С. БАХТИКЯН, А.А. БАГИЯН

**О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВЫОДУ МОДЕЛИ ТРЕНИЯ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Рассмотрена проблема вывода моделей трения и показана ее важность для аэрокосмических приложений. Предложен метод экспериментальной оценки связи сил трения с условиями полетов без их произведения. Представлены математические основы эксперимента и схема стенда для испытаний. Реализация экспериментов приведет к выводу новой модели трения, приемлемой для аэрокосмических приложений.

**Ключевые слова:** летательные аппараты, сухое трение, компенсация трения, экспериментальный вывод.

ՀՏԴ 681.5.09

**Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ, Ն. Հ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Ա. Հ. ԴԱՎԹՅԱՆ**

**ՈՉ ԽՈՋԱՆԱԿՎԱԿՈՐ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ԹԵՍՏԱՎՈՐՈՒՄԸ, ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԵՎ ՔԱՐՇԻՉ ՈՒԺԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Կատարվել է անօդաչու թռչող սարքերի (ԱԹՍ-երի) կառուցվածքում անփոխարինելի մաս կազմող, պահանջվող չափերով և հզորությամբ շարժիչների ու թևապտուտակների ճշգրիտ ընտրություն: Նկարագրվել է դրանց հետազոտման համար նախատեսված փորձարարական ստենդի կառուցվածքը: Արդյունքները և փորձնական տվյալները ստացվել և մշակվել են LabVIEW ծրագրային միջավայրում:

**Առանցքային բառեր.** փորձարարական ստենդ, ԱԹՍ, ոչ խոզանակավոր շարժիչ, քարշիչ ուժ, պտուտակ:

**Ներածություն.** Արդյունավետ և ոչ թանկարժեք ԱԹՍ-երի նախագծման կարևոր խնդիրներից են կատարողականությունը, թռիչքի որակը և բեռի տեղափոխման ունակությունը: ԱԹՍ-երի համար ինքնավար ուղղահայաց թռիչքի և վայրէջքի կարողությունները կարևոր, սակայն հակասական խնդիրներ են համարվում: Ուղղահայաց թռիչքի կամ վայրէջքի կարողության հիմնական պահանջներն են՝ ճշգրիտ ուղղությունը և գետնի նկատմամբ օդի հոսքի կառավարումը, ինչը կենսական նշանակություն ունի օդանավի հավասարակշռության համար: Երբ աշխատում ենք էլեկտրական սարքավորումներով (շարժիչներ և կոնտրոլերներ), կարևոր նշանակության մեխանիկական և էլեկտրական պարամետրերը երբեմն անհայտ կամ մասամբ հայտնի են լինում, հետևաբար՝ պետք է քայլեր ձեռնարկել այդ պարամետրերը որոշելու ուղղությամբ: Աշխատանքում քննարկվում են շարժիչների պարամետրերի որոշման և էլեկտրական ու էլեկտրոնային