

УДК 621.9.04

А. С. ОБАЙДИ, В. П. ЯГЛИНСКИЙ, Г. В. КОЗЕРАЦКИЙ, Н. Н. МОСКВИЧЕВ

## КИНЕМАТИКА ШТАНГ ПОЛНОПРАВНОГО ТРЕНАЖЕРА-ГЕКСАПОДА

Розроблені математичні моделі кінематичних параметрів штанг гексапода при відпрацюванні платформою складного маневру. На основі поступальних рівнянь руху полюса і обертальних рухів по кутах Ейлера-Крилова сформований рух платформи гексапода. Моделювання траєкторії-тангажа платформи виконане на основі позиційно-координатного управління. Рух кожної штанги гексапода навколо нерухомої осі представлений зміною двох кутів Ейлера. Встановлені залежності кутових швидкостей і кутових прискорень штанг у вигляді проєкцій на нерухомі осі координат і на осі, пов'язані з штангами. Обчислення для типової конструкції авіатренажера фірми "Антонов" підтвердили можливість отримання кінематичних параметрів штанг гексапода при виконанні маневру типу тангаж. Встановлені граничні значення акселераційних навантажень на екіпаж при максимальних допустимих кутах тангажу платформи тренажера-гексапода.

**Ключові слова:** мобільні машини, тангаж, маневр, акселераційне навантаження, платформа.

Разработаны математические модели кинематических параметров штанг гексапода при отработке платформой сложного маневра. На основе поступательных уравнений движения полюса и вращательных движений по углам Эйлера-Крылова сформировано движение платформы гексапода. Моделирование траектории-тангажа платформы выполнено на основе позиционно-координатного управления. Движение каждой штанги гексапода вокруг неподвижной оси представлено изменением двух углов Эйлера. Установлены зависимости угловых скоростей и угловых ускорений штанг в виде проекций на неподвижные оси координат и на оси, связанные с движущимися штангами. Вычисления для типовой конструкции авиатренажера фирмы "Антонов" подтвердили возможность получения кинематических параметров штанг гексапода при выполнении маневра типа тангаж. Установлены предельные значения акселерационных нагрузок на экипаж при максимальных допустимых углах тангажа платформы тренажера-гексапода.

**Ключевые слова:** мобильные машины, тангаж, маневр, акселерационная нагрузка, платформа.

Is considered the movement of the full exercise machine-hexapod on which platform the exact copy and visual system of the modern vehicle is placed. The developed mathematical model of the kinematic parameters of hexapod rods when developing a platform of a complex maneuver type of pitch. On the basis of the translational equations of motion of poles and rotational motions on the angles of Euler-Krylov's is formed by the movement of the platform hexapod. Simulation of the trajectory of the pitch of the platform is made on the basis of the control position coordinates. The motion of each rod hexapod around a fixed axis represented by the variability of the two Euler angles. Installed the dependences of angular velocities and angular accelerations of the rods in the form of projections on the fixed axes and on the axis associated with moving rods. Modeling the trajectory of a complex maneuver the simulator in the form of side drifts. Is made calculations for a typical design of simulators the company "Antonov" confirmed the possibility of obtaining kinematic parameters of hexapod rods when performing a maneuver of the type of pitch. Installed limit values of acceleration loads on the crew during maximum angles of pitch of the platform of the simulator hexapod.

**Keywords:** mobile machines, pitch maneuver, acceleration, platform.

**Введение.** Для принятия быстрых решений по удержанию курса и мгновенных реакций по изменению движения мобильных транспортных объектов необходима тщательная подготовка экипажа. Наибольшее распространение тренажерные технологии получили там, где ошибки при обучении на реальных объектах приводят к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам. Поэтому задача исследования кинематики звеньев тренажера-гексапода, имитации процесса управления приводными устройствами, осуществляющими движение кабины тренажера, является актуальной проблемой. Решение проблемы всесторонней подготовки экипажей мобильной техники к действию в чрезвычайных ситуациях требует создания и совершенствования систем моделирования движения ММ при различных условиях маневрирования. В настоящее время существует приблизительно 1250 Полных тренажеров полета (FFS) во всем мире для экспериментального обучения в Коммерческом Воздушном транспорте (CAT), из которых приблизительно 550 находятся в США, 75 в Великобритании, 60 в Китае, по 50 в Германии и Японии, и 40 во Франции. Из них приблизительно 450 были сделаны компанией CAE (рис. 1), главным образом на Монреальском предприятии, приблизительно 380 производства Thales и его компаньонов и приблизительно 280 – Flight Safety International [1]. Исследования прямой и обратной задач кинематики платформ, рабочей зоны и сингулярности выполнены в работах Merlet J., Bonev I., Liu X-J., Wang J. [2, 3, 4].

Матричные методы расчета МПС представлены в работах Reza N. Jazar [5]. Заслуживают внимания достижения в исследованиях конструирования МПС

Ю. Н. Кузнецова, Д. А. Дмитриева [6, 7]. Вопросы кинематики МПС в составе промышленных платформ рассмотрены в работах Lenarces J., Bajd T., Stanisic M. [8]. В настоящее время известны работы по кинематике и повышению подвижности платформ комбинированного модульного тренажера-гексапода, в которых выполнены исследования уровня акселерационной нагрузки на экипаж [9, 10, 11].

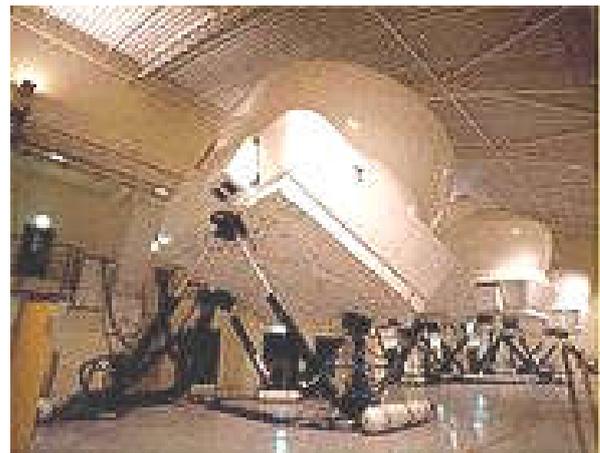


Рис. 1 – "Полноправный" современный авиасимулятор компании CAE (Канада), <http://www.cae.com/>

Однако, в известных исследованиях кинематики гексапода движения штанг не рассматриваются и полностью отсутствует методология исследования их кинематических параметров. Кинематические параметры штанг гексапода необходимы не только для определения ориента-

ции гексапода, но и для решения задач динамики при исследовании уровней нагружения тренажера.

**Методология.** Динамическая платформа современного компоновка тренажера экипажей мобильных машин формируется на основе платформы Стюарта, имеет минимум 6 степеней свободы и представляет собой систему из подвижной платформы (ПП) 1 и неподвижной стойки (базиса) 2 (рис. 2).

Шесть карданных 4 шарниров  $A_i$  на стойке и шесть сферических 5 шарниров  $B_i$  ПП соединены ше-

стью подвижными звеньями (штангами) 3 переменной длины  $A_i B_i$ . Движение ПП тренажера-гексапода в неподвижном базисе  $O X_0 Y_0 Z_0$  определено шестью независимыми параметрами: поступальными с полюсом ПП  $P$  (координаты  $x_P, y_P, z_P$ ) и вращательными (углы Эйлера-Крылова  $\psi, \theta, \varphi$ ) [4].

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_P(t); y_P = y_P(t); z_P = z_P(t); \\ \psi &= \psi(t); \theta = \theta(t); \varphi = \varphi(t). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

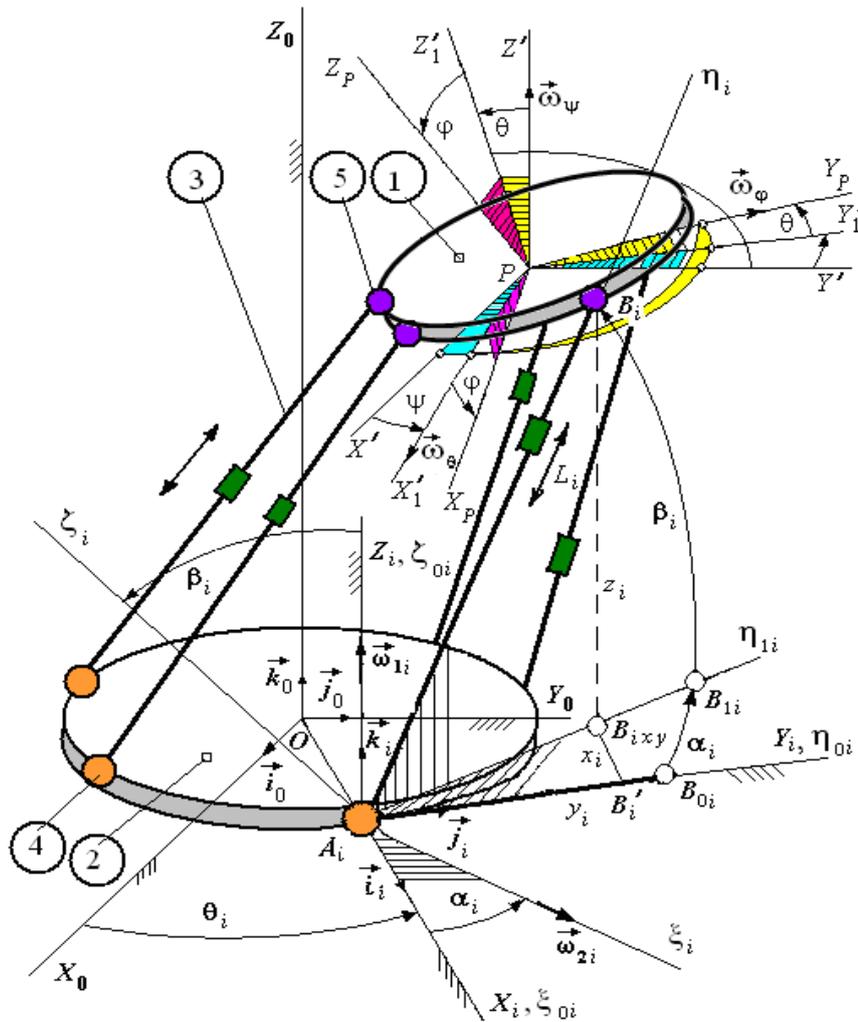


Рис. 2 – Схема поворотов ПП вокруг полюса  $P$  и поворотов штанг гексапода вокруг шарнира  $A_i$

Координаты центров шарниров  $A_i$  неподвижного базиса  $O X_0 Y_0 Z_0$  и  $B_i$  платформы в подвижном базисе  $P X_P Y_P Z_P$ , связанном с платформой, при движении платформы не изменяются (рис. 2, 3) [4]:

$$A_i^0 = (x_{A_i} \ y_{A_i} \ z_{A_i}), \quad B_i^P = (B_{x_i} \ B_{y_i} \ B_{z_i}), \quad i = 1 \dots 6. \quad (2)$$

Из геометрии расположения шарниров  $A_i$  определены выражения для углов  $\gamma_1 = 2 \arcsin \left( \frac{A_3 A_4}{2 R_A} \right)$  и  $\gamma_2 = 2\pi/3 - \gamma_1$ ;  $R_A$  и  $R_B$  – радиусы центров шарниров  $A_i$  и  $B_i$  соответственно. В соответствии с теоремой Эйлера о конечном перемещении твердого тела с одной

неподвижной точкой платформу 1 из начального положения  $P X' Y' Z'$  в конечное  $P X_P Y_P Z_P$  можно переместить тремя поворотами (рис. 2).

Первый поворот вокруг оси  $PZ'$  на угол  $\psi$  с угловой скоростью  $\vec{\omega}_\psi$  до положения  $P X'_1 Y'_1 Z'_1$ . Вторым — вокруг линии узлов  $P X'_1$  на угол  $\theta$  с угловой скоростью  $\vec{\omega}_\theta$  до положения  $P X'_1 Y'_1 Z'_2$ . Третий поворот вокруг собственной оси ПП  $P Y_P$  на угол  $\varphi$  с угловой скоростью  $\vec{\omega}_\varphi$  до положения  $P X_P Y_P Z_P$ . С учетом матриц преобразования координат получены выражения для координат центров шарниров  $B_i$  в неподвижной системе  $O X_0 Y_0 Z_0$  в виде [4]:

$$\begin{pmatrix} x_{Bi} \\ y_{Bi} \\ z_{Bi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{xi}(c_\psi c_\varphi - s_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}(-s_\psi c_\theta) + B_{zi}(c_\psi s_\varphi + s_\psi s_\theta c_\varphi) + x_p \\ B_{xi}(s_\psi c_\varphi + c_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}c_\psi c_\theta + B_{zi}(s_\psi s_\varphi - c_\psi s_\theta c_\varphi) + y_p \\ B_{xi}(-c_\theta s_\varphi) + B_{yi}s_\theta + B_{zi}c_\theta c_\varphi + z_p \end{pmatrix}, \quad i = 1 \dots 6, \quad (3)$$

$$c_\psi = \cos\psi, \quad s_\psi = \sin\psi, \quad c_\theta = \cos\theta, \quad s_\theta = \sin\theta, \quad c_\varphi = \cos\varphi, \quad s_\varphi = \sin\varphi.$$

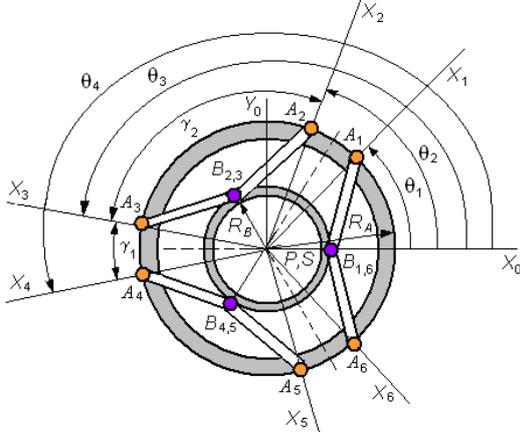


Рис. 3 – Схема расположения шарниров: карданных  $A_i$  и сдвоенных сферических  $B_i$

При движении тренажера штанги выполняют вращательные движения вокруг неподвижного центра шарнира  $A_i$ . Движение каждой  $i$ -ой штанги рассмотрено в своей неподвижной системе  $A_i X_i Y_i Z_i$ , ориентация которой относительно базовой системы  $O X_0 Y_0 Z_0$  определена постоянными координатами центра шарнира  $A_i(x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai})$  и угловым положением  $\theta_i$  отрезка  $O A_i$  (рис. 2, 3).

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 = 0,5\gamma_2; \quad \theta_2 = 0,5\gamma_2 + \gamma_1; \quad \theta_3 = 1,5\gamma_2 + \gamma_1; \\ \theta_4 = 1,5\gamma_2 + 2\gamma_1; \quad \theta_5 = 2,5\gamma_2 + 2\gamma_1; \quad \theta_6 = 2,5\gamma_2 + 3\gamma_1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ось  $A_i X_i$  сонаправлена с отрезком  $O A_i$ . Оси вспомогательной промежуточной системы  $A_i X'_i Y'_i Z'_i$  параллельны неподвижным базисным осям системы  $O X_0 Y_0 Z_0$ .  $B_{ixy}$  – проекция шарнира  $B_i$  на плоскость  $O X_0 Y_0$ . С каждой  $i$ -той штангой  $A_i B_i$  связано свою подвижную систему  $A_i \xi_i \eta_i \zeta_i$ , которая вращается вокруг неподвижного шарнира  $A_i$  вместе с штангой. Положение подвижных осей  $A_i \xi_i \eta_i \zeta_i$  относительно неподвижных  $A_i X_i Y_i Z_i$  определено углами  $\alpha_i$  и  $\beta_i$ . Шарнир  $A_i$  является карданным и поворот штанги относительно продольной оси  $A_i \eta_i$  невозможен. В начальном положении ( $\alpha_i = 0$  и  $\beta_i = 0$ ) оси систем  $A_i \xi_{0i} \eta_{0i} \zeta_{0i}$  и  $A_i X_i Y_i Z_i$  совпадают, штанги занимают горизонтальное положение  $A_i B_{0i}$  (в плоскости  $O X_0 Y_0$ ) перпендикулярно  $O A_i$ .

Первый поворот выполнен вокруг неподвижной оси  $A_i Z_i$  на угол прецессии  $\alpha_i$  с угловой скоростью  $\dot{\omega}_{1i}$  и второй – вокруг линии узлов (оси  $A_i \xi_i$ ) на угол  $\beta_i$  с угловой скоростью  $\dot{\omega}_{2i}$ . После первого поворота ось  $A_i \xi_i$  занимает окончательное положение, ось  $A_i \eta_i$  и штанга  $A_i B_i$  – промежуточные.

После второго поворота на угол  $\beta_i$  оси системы  $A_i \xi_i \eta_i \zeta_i$  и штанга  $A_i B_i$  занимают окончательное положение. Координаты центра шарнира  $B_i$  в своей (местной) неподвижной системе координат  $A_i X_i Y_i Z_i$  определены при известных координатах (3) в системе  $O X_0 Y_0 Z_0$  с помощью матриц преобразования координат: перенос начала координат  $O$  в точку  $A_i$  и поворот осей на угол  $\theta_i$ .

После преобразования координаты центра шарнира  $B_i$  в системе  $A_i X_i Y_i Z_i$  обозначены в виде  $B_i(x_i, y_i, z_i)$ . В результате получено

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_{Bi} - x_{Ai}) \sin \theta_i + (y_{Bi} - y_{Ai}) \cos \theta_i \\ (x_{Bi} - x_{Ai}) \cos \theta_i - (y_{Bi} - y_{Ai}) \sin \theta_i \\ z_{Bi} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Из геометрии перемещений определены тангенсы углов поворотов  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  из прямоугольных треугольников  $A_i B'_i B_{ixy}$  и  $A_i B_i B_{ixy}$  (рис. 3).

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{B'_i B_{ixy}}{A_i B'_i} = -\frac{x_i}{y_i}; \quad \operatorname{tg} \beta_i = \frac{B_i B_{ixy}}{A_i B_{ixy}} = \frac{z_i}{h_i}, \quad (6)$$

где  $h_i$  – горизонтальная проекция штанги  $A_i B_i$ :

$$h_i = A_i B_{ixy} = y_i / \cos \alpha_i. \quad (7)$$

Для определения угловых скоростей поворотов штанг формулы (6) удобно записать в виде

$$y_i \operatorname{tg} \alpha_i = -x_i; \quad h_i \operatorname{tg} \beta_i = z_i. \quad (8)$$

После дифференцирования (8) по времени получены выражения для угловых скоростей составляющих вращений штанг

$$\left. \begin{aligned} \omega_{1i} = \dot{\alpha}_i = -\frac{1}{y_i} (\dot{x}_i + \dot{y}_i \operatorname{tg} \alpha_i) \cos^2 \alpha_i; \\ \omega_{2i} = \dot{\beta}_i = \frac{1}{h_i} (\dot{z}_i - \dot{h}_i \operatorname{tg} \beta_i) \cos^2 \beta_i. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Точками сверху обозначено дифференцирование по времени.

Умножив обе части равенств (9) на знаменатели и продифференцировав по времени, получены выражения для компонентов угловых ускорений штанг гексапода в виде

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_i = \frac{-(\ddot{x}_i + \ddot{y}_i \operatorname{tg} \alpha_i + 2\dot{y}_i \dot{\alpha}_i) \cos^2 \alpha_i + \dot{x}_i \dot{\alpha}_i \sin 2\alpha_i}{y_i}; \\ \ddot{\beta}_i = \frac{(\ddot{z}_i - \ddot{h}_i \operatorname{tg} \beta_i - 2\dot{h}_i \dot{\beta}_i) \cos^2 \beta_i - \dot{z}_i \dot{\beta}_i \sin 2\beta_i}{h_i}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \dot{h}_i &= -\frac{\dot{y}_i + h_i \dot{\alpha}_i \sin \alpha_i}{\cos \alpha_i}; \\ \ddot{h}_i &= -\frac{\ddot{y}_i + h_i \ddot{\alpha}_i \sin \alpha_i + \dot{h}_i \dot{\alpha}_i + \dot{h}_i \dot{\alpha}_i (1 + 2 \operatorname{tg} \alpha_i)}{\cos \alpha_i} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

В результате двух вращений вектор угловой скорости  $i$ -той штанги

$$\vec{\omega}_i = \vec{\omega}_{1i} + \vec{\omega}_{2i}. \quad (12)$$

Проецируя обе части равенства на неподвижные оси координат  $A_i X_i Y_i Z_i$  (рис. 2), найдено

$$\begin{aligned} \omega_{xi} &= \dot{\beta}_i \cos \alpha_i; \quad \omega_{yi} = \dot{\beta}_i \sin \alpha_i; \quad \omega_{zi} = \dot{\alpha}_i; \\ \vec{\omega}_i &= \dot{\beta}_i \cos \alpha_i \vec{i}_i + \dot{\beta}_i \sin \alpha_i \vec{j}_i + \dot{\alpha}_i \vec{k}_i. \end{aligned} \quad (13)$$

Дифференцируя (13) по времени, найдено вектор углового ускорения  $i$ -той штанги

$$\vec{\varepsilon}_i = \varepsilon_{xi} \vec{i}_i + \varepsilon_{yi} \vec{j}_i + \varepsilon_{zi} \vec{k}_i, \quad (14)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xi} &= \ddot{\beta}_i \cos \alpha_i - \dot{\alpha}_i \dot{\beta}_i \sin \alpha_i; \\ \varepsilon_{yi} &= \ddot{\beta}_i \sin \alpha_i + \dot{\alpha}_i \dot{\beta}_i \cos \alpha_i; \\ \varepsilon_{zi} &= \ddot{\alpha}_i. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Модули угловой скорости и углового ускорения

$$\omega_i = \left[ \dot{\alpha}_i^2 + \dot{\beta}_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad \varepsilon_i = \left[ \ddot{\alpha}_i^2 + \dot{\alpha}_i^2 \dot{\beta}_i^2 + \ddot{\beta}_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (15)$$

Для задач динамики штанг гексапода необходимы проекции угловой скорости и углового ускорения на подвижные оси  $A_i \xi_i \eta_i \zeta_i$ , связанные с  $i$ -ой штангой. Проецируя (13) и (14) на эти оси, получено

$$\omega_{\xi_i} = \dot{\beta}_i; \quad \omega_{\eta_i} = \dot{\alpha}_i \sin \beta_i; \quad \omega_{\zeta_i} = \dot{\alpha}_i \cos \beta_i. \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\xi_i} &= \varepsilon_{xi} \cos \alpha_i + \varepsilon_{yi} \sin \alpha_i; \\ \varepsilon_{\eta_i} &= -\varepsilon_{xi} \sin \alpha_i \cos \beta_i + \varepsilon_{yi} \cos \alpha_i \cos \beta_i + \varepsilon_{zi} \sin \beta_i; \\ \varepsilon_{\zeta_i} &= \varepsilon_{xi} \sin \alpha_i \sin \beta_i - \varepsilon_{yi} \cos \alpha_i \sin \beta_i + \varepsilon_{zi} \cos \beta_i. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Траектория тангажа тренажера-гексапода в плоскости  $OX_0Z_0$  смоделирована позиционно-координатным методом в виде дуги окружности радиусом  $R = 8,0$  м с максимальным углом тангажа  $\varphi_0 = 30^\circ$  [4]. Движение полюса платформы  $P$  вдоль горизонтальной оси  $x_p = x_p(t)$  представлено позиционным управлением: задано начальное и конечное положения полюса  $P$  платформы, максимальные значения скоростей, ускорений и рывка. Все остальные параметры движения определены координатным способом в соответствии с заданной траекторией маневра (рис. 4).

Для расчетов приняты исходные данные типовой конструкции авиатренажера фирмы "Антонов К":  $R_A = 2,7$  м;  $R_B = 2,45$  м;  $h_0 = 1,3$  м. Расчетами установлено, что максимальные значения угловых ускорений штанг превышают  $15 \text{ с}^{-2}$  (рис. 5). Графики изменения ускорений дают представление о распределении моментов сил инерции по штангам гексапода.

Заменяя в (2) координаты шарнира  $B_i$  на координаты центра тяжести оператора транспортного средства  $C^P = (C_x, C_y, C_z) = (0, 0, 1,4)$  и дифференцируя дважды по времени, найдено абсолютное ускорение центра  $C$ . В результате расчетов выявлено, что при выполнении платформой маневра типа "тангаж" с заданными параметрами траектории уровень акселерационной нагрузки на экипаж превышает  $2,3g$  ( $g$  – ускорение свободного падения). Нормативное предельное значение акселерационной нагрузки для пилотов соответствуют уровню  $6g$ . Моделирование траекторий сложного маневра тренажера представлена на рис. 4.

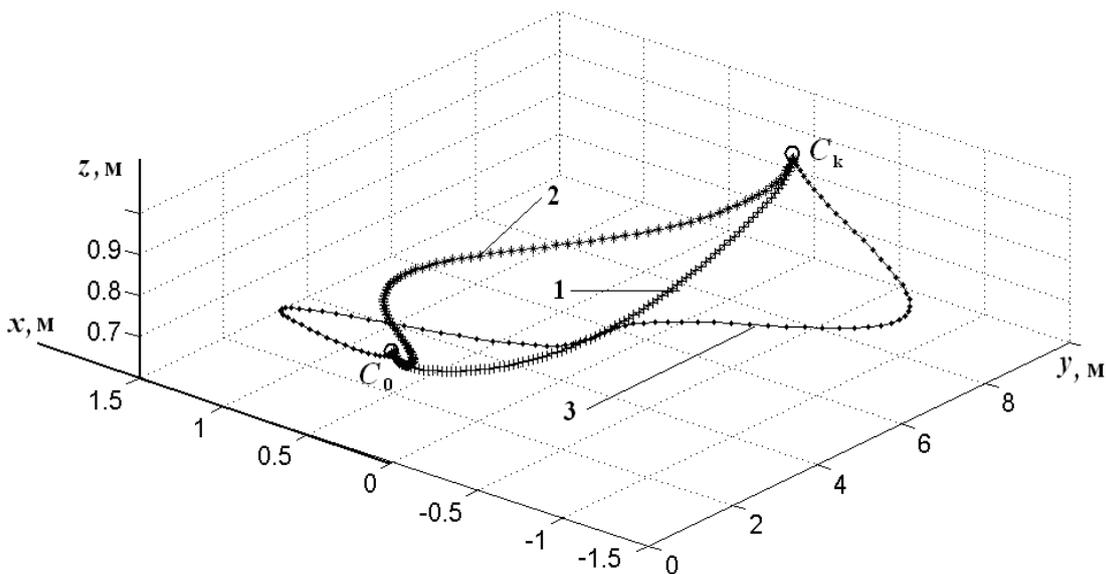


Рис. 4 – Траектория центра масс водителя ММ при выполнении сложного маневра: 1 – односторонний занос; 2 – двухсторонний занос; 3 – одновременный двойной занос с движением по уклону 30 град (угол тангажа)

Уровень акселерационного воздействия на экипаж ММ характеризуется полным ускорением  $a_c$  центра масс водителя (рис. 6).

При определении уровня акселерационной нагрузки на экипаж базовым значением для ускорений принято  $10^{-4} \text{ м/с}^2$ . Результаты исследований свидетельствуют, что уровни воздействий на экипаж соответствует уровню возможных воздействий при осуществлении нормативных маневров ММ и способствует приобретению навыков вождения в экстремальных условиях.

Подтверждена возможность моделирования сложного маневра платформы тренажера при допустимой нагрузке на штанги гексапода.

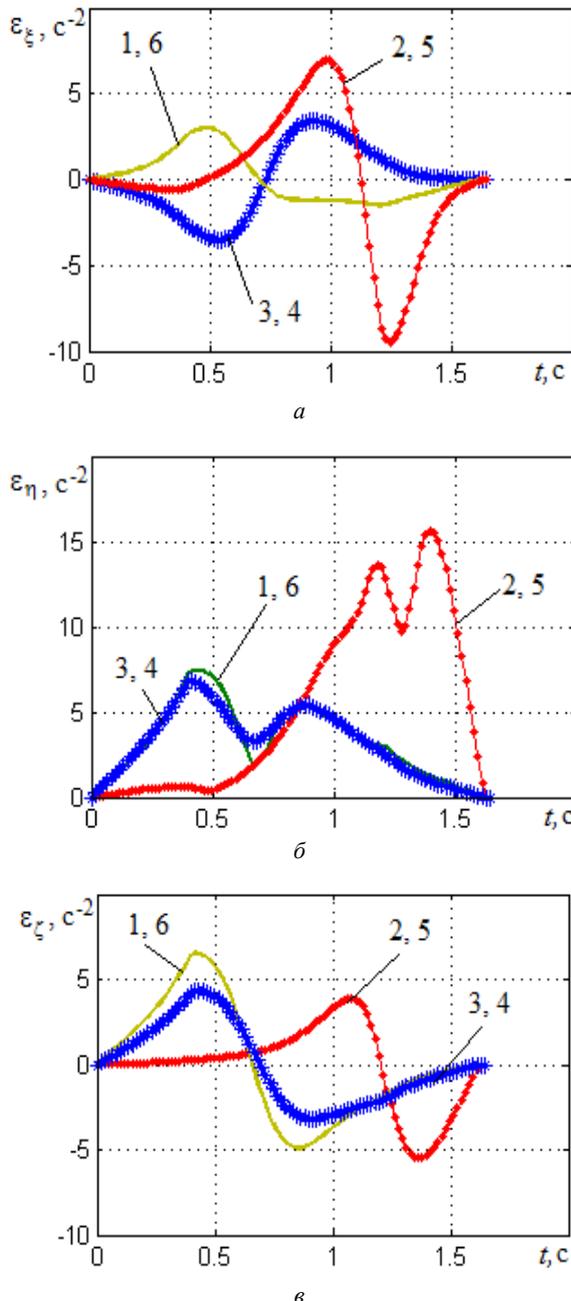


Рис. 5 – Графики изменения проекций угловых ускорений штанг гексапода на подвижные оси:  $a - \xi$ ,  $b - \eta$ ,  $\bar{b} - \zeta$ ; цифрами на кривых указаны номера штанг в соответствии с рис. 3

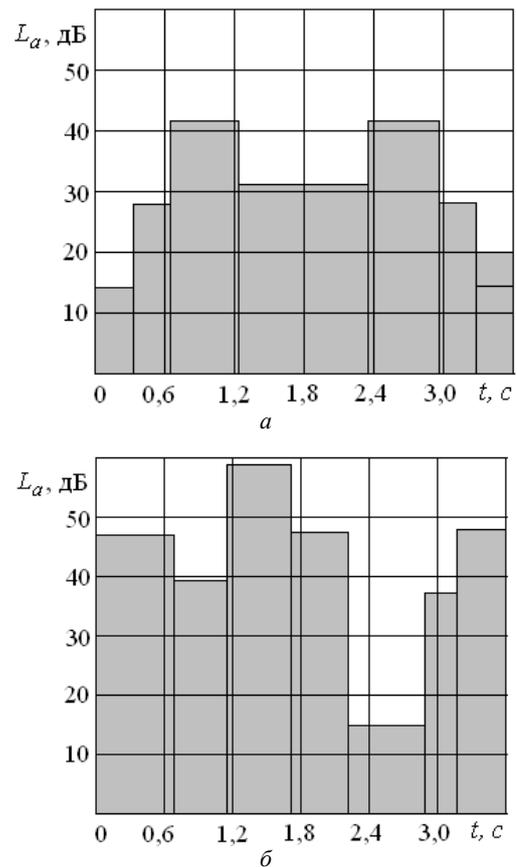


Рис. 6 – График акселерационного воздействия на экипаж ММ при выполнении маневра типа "боковой занос":  
 $a$  – односторонний занос;  
 $b$  – двухсторонний занос с уклоном 30 град

**Выводы.** Разработаны математические модели кинематических параметров штанг гексапода при выполнении платформой произвольного сложного маневра. Установлены зависимости угловых скоростей и угловых ускорений штанг в виде проекций на неподвижные оси координат и на оси, связанные с движущимися штангами. Установлено, что при имитации на тренажере бокового заноса без уклона (тангажа) водитель и экипаж испытывают акселерационные воздействия на уровне, не превышающем 45 дБ, а при выполнении тангажа (30 град) совместно с двусторонним заносом – в среднем диапазоне 45...60 дБ. Представлен алгоритм исследования кинематики штанг гексапода. Вычисления для типовой конструкции авиатренажера фирмы "АНТК Антонов" подтвердили возможность получения кинематических параметров штанг гексапода при выполнении маневра типа тангаж. Отработан процесс определения кинематических параметров штанг, необходимых для задач динамики гексапода в целом.

#### Список литературы

1. Gogu, G. Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 5: Basic Overconstrained Topologies with Schönflies Motions / G. Gogu // – Ed. Springer: Dordrecht. – 2014. DOI 10.1007/978-94-007-7401-8.
2. Merlet, J. Parallel Robots / J. Merlet // 2th ed. Springer: Dordrecht. – 2006.
3. Bonev I. A. A new method for solving the direct kinematics of general 6-6 Stewart platforms using three linear extra sensors / I. A. Bonev // Mechanism and Machine Theory. – 2000. – № 35 (3). – P. 423–436.
4. Xin-Jun, Liu. Parallel Kinematics. Type, Kinematics, and Optimal Design / Liu Xin-Jun, Wang Jinsong // Ed. Springer: Heidelberg. – 2014. DOI 10.1007/978-3-642-36929-2.

5. Reza, Jazar. Theory of Applied Robotics. Kinematics, Dynamics, and Control / Jazar Reza // 2th ed. Springer. Dordrecht. – 2010. DOI 10.1007/978-1-4419-1750-8.
6. Kuznesov, Yu. The genetic approach is the key to innovative synthesis of complicate technical systems / Yu. Kuznesov, V. Shinkarenko // Plovdiv, Fundamental sciences and applications. – 2011. – № 16, b.2. – P. 211–219.
7. Кузнецов, Ю.Н. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, А. А. Дмитриев, Г. Е. Диневиц // – Вышемирский В.С. – Херсон. – 2010.
8. Lenarces J. Robot Mechanisms / J. Lenarces, T. Bajd, M. Stanisic // Springer: Dordrecht. – 2013. DOI 10.1007/978-94-007-4522-3.
9. Яглінський, В.П. Кінематика комбінованого модульного динамічного тренажера / В. П. Яглінський, А. С. Обайди // Технологічний аудит і резерви виробництва – № 2/1 (16). – 2014. – С. 38–41.
10. Яглінський, В.П. Кінематика обладнання на основі механізмів параллельної структури / В. П. Яглінський. Колективна монографія: Прогресивне машинобудівне обладнання. – Спектр. – Орел, РФ. – 2011. – С. 86–32.
11. Yaglinsky, V. Kinematics Rods of Simulator-Hexapod / V. Yaglinsky, A. Al-Obaydi, G. Kozratsky, N. Moskvichov // British Journal of Applied Science & Technology. – № 16(3). – 2016. – P. 1–7. DOI: 10.9734/BJAST/2016/26274.
2. Merlet, J. Parallel Robots. 2th ed. Springer: Dordrecht, 2006.
3. Bonev, I.A. A new method for solving the direct kinematics of general 6-6 Stewart platforms using threelinear extra sensors. *Mechanism and Machine Theory*, 2000, 35(3), 423–436.
4. Xin-Jun, Liu, Wang, Jinsong. Parallel Kinematics. Type, Kinematics, and Optimal Design. Ed. Springer: Heidelberg, 2014. DOI 10.1007/978-3-642-36929-2.
5. Reza, Jazar. Theory of Applied Robotics. Kinematics, Dynamics, and Control. 2th ed. Springer: Dordrecht, 2010. DOI 10.1007/978-1-4419-1750-8.
6. Kuznesov, Yu., Shinkarenko, V. The genetic approach is the key to innovative synthesis of complicate technical systems. *Plovdiv: Fundamental sciences and applications*, 2011, № 16, b.2, 211–219.
7. Kuznesov, Yu., N., Dmitriev, D. A., Dinevitch, G. E. Komponovki stanokov s mehanizmami parallelni struktury. Ed. Vichemirskiy V.S., Kherson, 2010.
8. Lenarces, J., Bajd, T., Stanisic, M. Robot Mechanisms. Springer: Dordrecht, 2013. DOI 10.1007/978-94-007-4522-3.
9. Yaglinsky, V. P., Obaydi, A. S. Kinematika kombinovanogo modulnogo dynamichnogo trenajera. *Technologicheskyy audit i rezervy proizvodstva*, 2014, 2/1(16), 38–41.
10. Yaglinsky, V.P. Kinematika oborudovania na osnove mehanizmov parallelnoi struktury. *Kollektivnaia monographia: Progressivnoe mashinostroitelnoe oborudovanie. Ed Spectr: Orel*, 2011, 86–132.
11. Yaglinsky, V., Al-Obaydi, A., Kozratsky, G., Moskvichov, N. Kinematics Rods of Simulator-Hexapod. *British Journal of Applied Science & Technology*, 2016, 16(3), 1–7. DOI: 10.9734/BJAST/2016/26274.

## Bibliography (transliterated)

1. Gogu, G. Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 5: Basic Overconstrained Topologies with Schönflies Motions. Ed. Springer: Dordrecht, 2014. DOI 10.1007/978-94-007-7401-8.

Поступила (received) 10.05.2016

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Кінематика штанг повноправного тренажера-гексапода / А. С. Обайди, В. П. Яглінський, Г. В. Козерацький, М. М. Москвичов** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – X. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 115–120. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0791.

**Кінематика штанг повноправного тренажера-гексапода / А. С. Обайди, В. П. Яглінський, Г. В. Козерацький, Н. Н. Москвичев** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – X. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 115–120. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0791.

**Kinematics of rods of full simulator hexapod / A. Obaydi, V. Yaglinsky, G. Kozratsky, N. Moskvitshev** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 115–120. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-0791.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Яглінський Віктор Петрович** – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання; тел. 096-767-17-17; e-mail: robot8@bk.ru.

**Яглінський Віктор Петрович** – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання; тел. 096-767-17-17; e-mail: robot8@bk.ru.

**Yaglinsky Victor Petrovich** – doctor of technical Sciences, Professor, Odessa National Polytechnic University, Head of Department conveying and robotics equipment; Odessa, Ukraine; tel.: 096-767-17-17; e-mail: robot8@bk.ru.

**Козерацький Геннадій Володимирович** – Одеський національний політехнічний університет, асистент кафедри управління системами безпеки життєдіяльності.

**Козерацький Геннадій Владимирович** – Одеський національний політехнічний університет, асистент кафедри управління системами безпеки життєдіяльності.

**Kozratsky Gennady Volodymyrovich** – Odessa National Polytechnic University, assistant at the Department of systems management security of life.

**Ал-Обайді Аймен Сабах** – аспірант, Одеський національний політехнічний університет.

**Ал-Обайди Аймен Сабах** – аспірант, Одеський національний політехнічний університет.

**Al-Obaydi Aimen Sabah** – graduate student, Odessa National Polytechnic University.

**Москвичов Микола Миколайович** – аспірант, Одеський національний політехнічний університет.

**Москвичев Николай Николаевич** – аспірант, Одеський національний політехнічний університет.

**Moskvitshov Nikolay Nikolaevich** – graduate student, Odessa National Polytechnic University.