”НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ, РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ КОИТО СА ПРЕДСТАВЕНИ В НАСТОЯЩАТА ПУБЛИКАЦИЯ, СА ФИНАНСИРАНИ ОТ ВЪТРЕШЕН КОНКУРС НА ТУ-СОФИЯ-2012г.”

КИНЕМАТИКА НА ЛИФТ С ЧЕТИРИ КАБИНИ, ХВАЩАЧИ, НОСАЧИ И ВЪЖЕ В 3D ПРОСТРАНСТВОТО НА МЕЖДУСТЪЛБИЕ

Васил АХЧИЙСКИ, Илия АНГЕЛОВ, Георги ИЛИЕВ

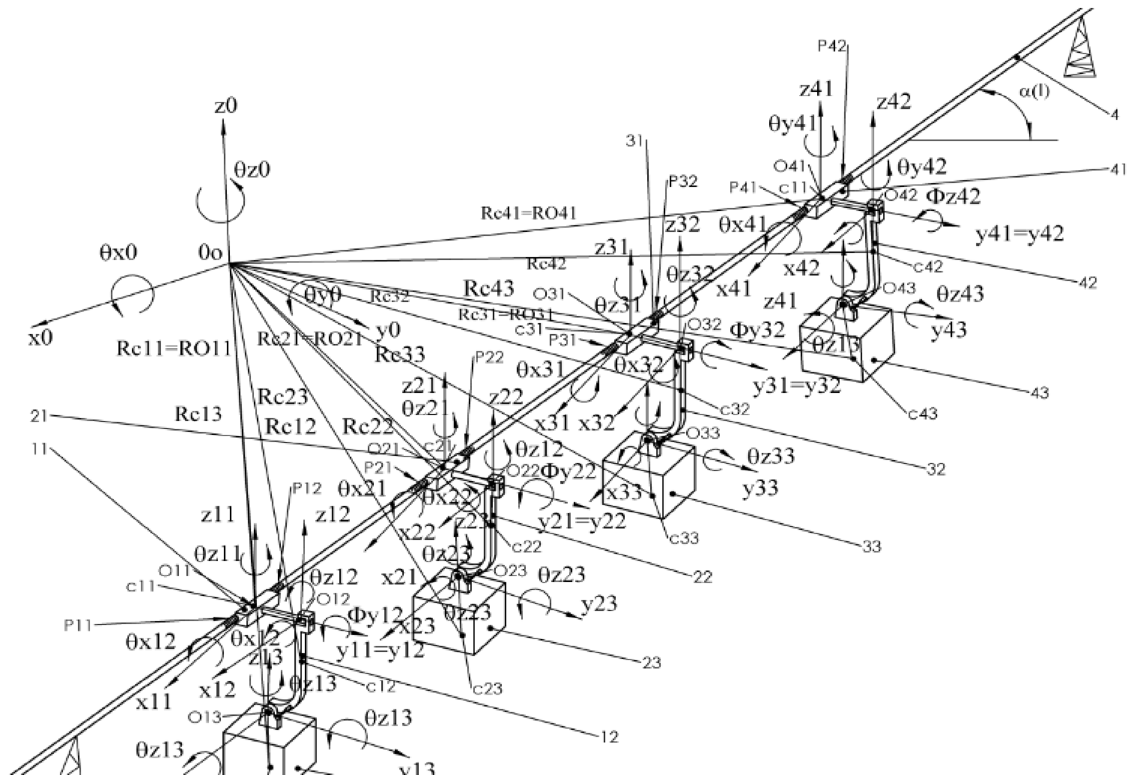
ТУ – София, ИЛПТСТ,
София1000,бул."Кл.Охридски"8,България

Резюме

В тази работа се изследва кинематиката на междустълбие от лифт с четири кабини с хващачи, носачи и въже в 3D пространството с методите на матричната механика [Ангелов Ил 2008.]. Получени са формули за линейните скорости на масовите центрове на съответните възли в неподвижните координатни системи и ъгловите им скорости спрямо свързаните с тях координатни системи. Получените формули се използват за изследване на динамиката и трептенията в 3D пространството на кабините и техните възли, пътници и товар от едновъжен кабинков лифт. Изследвания случай е за вариант, когато в междустълбието има четири кабини, в хоризонтална или наклонена равнина, като наклона може да бъде различен..

Ключови думи

едновъжен кабинков лифт ,линейнии скорости,ъглови скорости, матрици,формули.



Фиг1.Кинематичен модел на четири кабини

Въведение

От познатата литература не са известни формули за определяне кинематиката на кабини, хващачи, носачи и въже в 3D пространството. Известни са [6] формули за кинематиката на тази транспортна система,но са изследвани в равнината. В тази статия са представени действителните движения на системата в тримерното пространство.

На фиг.1 е даден кинематичен модел на лифт с четири кабини в едно междустълбие, където 11,21,31,41-хващачи на кабини, 12,22,32,42-носачи на кабините, 13,23,33,43 – кабини със седалки и пътници, 4–въже с 5 участъка. Извършени са следните означения: $O_0x_0y_0z_0$ - отправна (неподвижна) координатна система, $\mathrm{O_{ij}x_{ij}y_{ii}z_{ii}}$ i=(1..4) *j=(1..3)* – координатна система свързана неподвижно с съответното движещо се тяло, $\mathbf{R}^{o}_{\mathrm{Cii}}$ - вектор на положението на масовия център на съответното тяло в неподвижната координатна система, $\mathbf{r}_{\mathrm{cij}}$ - вектор на положението на произволна точка $\mathrm{C_{ij}}$ в координатна система свързана с тялото (*i* - 1,2,3,4), *j=(1..3)* $\mathbf{A}^{0}_{\mathrm{ij}}$ - матрица на преход на тялото от i-ят (1,2,3,4) , j=(*1..3*) комплект (хващач, носач и кабина) спрямо свързаната с това тяло координатна система, $\mathbf{U}^{\mathrm{i,j\text{-}1}}_{\mathrm{ij}}$ - матрица на ротация от *j* – тата до *j*-1 координатна система, $\mathbf{V}_{\mathrm{Cij}}$ - линейната скорост на масовия център на съответното тяло в неподвижната координатна система, $\mathbf{\Omega}^{\mathrm{ii}}_{\mathrm{ii}}$ - ъглова скорост на съответното тяло в свързаната с него координатна система.

Векторът на обобщените координати на тялото има вида:

$$\mathbf{q}=[x_{11}\quad y_{11}\quad z_{11}\quad \theta_{x11}\quad \theta_{y11}\quad \theta_{z11}\quad \Phi_{y12}\quad \theta_{x13}$$
$$x_{21}\quad y_{21}\quad z_{21}\quad \theta_{x21}\quad \theta_{y21}\quad \theta_{z21}\quad \Phi_{y22}\quad \theta_{x23}$$
$$x_{31}\quad y_{31}\quad z_{31}\quad \theta_{x31}\quad \theta_{y31}\quad \theta_{z31}\quad \Phi_{y32}\quad \theta_{x33}$$
$$x_{41}\quad y_{41}\quad z_{41}\quad \theta_{x41}\quad \theta_{y41}\quad \theta_{z41}\quad \Phi_{y42}\quad \theta_{x43}]^{T}_{32x1} \qquad (1)$$

Вектори на положението на точка от съответно тяло в свързаната с него координатна система фиг.1, на четирите комплекта (i=1, 2, 3, 4; к=1, 2, 3). Комплект i:

$$\mathbf{r}^{ik}_{\mathrm{oikoik}} = \left[lo_{ik}x_{ik}\quad lo_{ik}y_{ik}\quad lo_{ik}z_{ik}\quad 1\right]^{T}$$
$$\mathbf{r}^{ik}_{oikoik} = \left[lo_{ik}x_{ik}\quad lo_{ik}y_{ik}\quad lo_{ik}z_{ik}\quad 1\right]^{T}$$
$$\mathbf{r}^{ik}_{OikCik} = \left[l_{Cikxik}\quad l_{Cikyik}\quad l_{Cikzik}\quad 1\right]^{T}$$
$$\mathbf{r}^{ik}{}_{p}ik = \left[lp_{i1}x_{i1}\quad lp_{i1}y_{i1}\quad lp_{i1}z_{i1}\quad 1\right]^{T}$$
$$\mathbf{r}^{ik}{}_{pik} = \left[lp_{i2}x_{i1}\quad lp_{i2}y_{i11}\quad lp_{i2}z_{i1}\quad 1\right]^{T} \qquad (2)$$

Матрици на преход на четирите комплекта

Комплект i (хващачи,носачи , кабини) i=1,2,3,4 Хващачи

$$\mathbf{A}^{\mathbf{0}}_{\mathrm{i1}} = \mathbf{At}^{\mathbf{0}}_{\mathrm{i1}}.\mathbf{Au}^{\mathbf{0}}_{\mathrm{i1}} = \begin{bmatrix} 1 & -\theta_{z\mathrm{i1}} & \theta_{y\mathrm{i1}} & \mathrm{x_{i1}} \\ \theta_{\mathrm{zi1}} & 1 & -\theta_{x11} & \mathrm{y_{i1}} \\ -\theta_{y\mathrm{i1}} & \theta_{x\mathrm{i1}} & 1 & z_{\mathrm{i1}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

На тела 2 (носачи)

$$\mathbf{A}^{0}_{\mathrm{i2}} = \mathbf{A}^{0}_{\mathrm{i1}}.\mathbf{A}^{\mathrm{i1}}_{\mathrm{i2}} \qquad (4)$$

където

$$\mathbf{A}_{i2}^{i1}=\mathbf{At}_{i2}^{i1}.\mathbf{Au}_{i2}^{i1}=\begin{bmatrix}\cos\Phi_{yi2} & 0 & \sin\Phi_{yi2} & l_{Oi2xi1}\\ 0 & 1 & 0 & l_{Oi2yi1}\\ -\sin\Phi_{yi2} & 0 & \cos\Phi_{yi2} & l_{Oi2zi1}\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix} hy_{i2}^{I}-hy_{i2}^{II}.\theta_{yi2} & 0 & hy_{i2}^{II}+hy_{i2}^{I}.\theta_{yi2} & l_{Oi2xi1}\\ 0 & 1 & 0 & l_{Oi2yi1}\\ -hy_{i2}^{II}-hy_{i2}^{I}.\theta_{yi2} & 0 & hy_{i2}^{I}-hy_{i2}^{II}.\theta_{yi2} & l_{Oi2zi1}\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

$$\cos\Phi_{yi2}=\cos[\alpha(l)+\theta_{yi2}]=$$
$$\cos\alpha(l).\cos\theta_{yv2}-\sin\alpha(l).\sin\theta_{yi2}=,$$
$$hy_{i2}^{I}.1-hy_{i2}^{II}.\theta_{yi2}$$

$$\sin\Phi_{yi2}=\sin[\alpha(l)+\theta_{yi2}]=$$
$$\sin\alpha(l).\cos\theta_{yi2}+\cos\alpha(l).\sin\theta_{yi2}=$$
$$hy_{i2}^{II}.1+hy_{i2}^{I}.\theta_{yi2}$$

Положили сме:

$hy_{i2}^{I}=\cos\alpha(l)$; $\quad hy_{i2}^{II}=\sin\alpha(l)$;

$\cos\theta_{yi2}=1$; $\quad \sin\theta_{yi2}=\theta_{yi2}$;

Ъгълът $\Phi y_{i2}=\pm\alpha(l)+\theta y_{i2}$, като $\alpha(l)$ е ъгъл на наклона на въжето в даденото междустълбие, като може да бъде различен при различни междустълбия, но за конкретно междустълбие $\alpha(l)$ е приблизително равен на ъгъла на наклона на хордата, но може за по голяма точност да се отчита провисването. При малък участък от междустълбието можем да приемем $\alpha(l)$ =const. θy_{i2} е ъгъл на трептене около ос y_{i2} и е по малък от 6^{o}. Тела 3 (кабини)

$$\mathbf{A}_{i3}^{0}=\mathbf{A}_{i1}^{0}.\mathbf{A}_{i2}^{i1}.\mathbf{A}_{i3}^{i2} \qquad (5)$$

където при малки ъгли

$$\mathbf{A}_{i3}^{i2}=\mathbf{At}_{i3}^{i2}.\mathbf{Au}_{i3}^{i2}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & l_{Oi3xi2}\\ 0 & 1 & -\theta_{xi3} & l_{Oi3yi2}\\ 0 & \theta_{xi3} & 1 & l_{Oi3zi2}\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad (6)$$

Вектори на положенията на масовите центрове на телата в отправна координатна система $O_0x_0y_0z_0$ фиг. 1:

$\mathbf{R}_{C11}^{\mathbf{0}}=[x_{11}\quad y_{11}\quad z_{11}]^{T}$ $\mathbf{R}_{C12}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{12}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C12}$;

$\mathbf{R}_{C13}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{13}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C13}$; $\mathbf{R}_{C21}^{\mathbf{0}}=[x_{21}\quad y_{21}\quad z_{21}]^{T}$

$\mathbf{R}_{C22}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{22}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C22}$; $\quad\mathbf{R}_{C23}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{23}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C23}$

$\mathbf{R}_{C31}^{\mathbf{0}}=[x_{31}\quad y_{31}\quad z_{31}]^{T}$ $\mathbf{R}_{C32}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{32}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C32}$;

$\mathbf{R}_{C33}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{33}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C33}$

$\mathbf{R}_{C41}^{\mathbf{0}}=[x_{41}\quad y_{41}\quad z_{41}]^{T}$ $\mathbf{R}_{C42}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{42}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C42}$;

$\mathbf{R}_{C43}^{\mathbf{0}}=\mathbf{A}_{43}^{\mathbf{0}}.\mathbf{r}_{C43}$; (6)

Вектори на ъгловите скорости на телата в свързаните с телата координатни системи на четирите комплекта:

Комплект i (хващачи,носачи, кабини) i=1,2,3,4

$$\mathbf{\Omega}_{i1}^{i1}=\mathbf{U}_{i1}^{\Omega i1}.\dot{\mathbf{\theta}} \qquad (7)$$

където $\dot{\mathbf{\theta}}=[\dot{\mathbf{\theta}}_{xi1}\quad\dot{\mathbf{\theta}}_{yi1}\quad\dot{\mathbf{\theta}}_{zi1}]^{T}$,

$$\mathbf{U}_{i1}^{\Omega i1}=\begin{bmatrix}1 & 0 & \sin\Phi_{yi1}\\ 0 & \cos\Phi_{xi1} & -\sin\Phi_{xi1}.\cos\Phi_{yi1}\\ 0 & \sin\Phi_{xi1} & \cos 1_{xi1}.\cos\Phi_{yi1}\end{bmatrix}$$

При малки ъгли :

$$\mathbf{\Omega}_{i1}^{i1}=[\dot{\mathbf{\theta}}_{xi1}\quad\dot{\mathbf{\theta}}_{yi1}\quad\dot{\mathbf{\theta}}_{zi1}]^{T} \qquad (8)$$

$$\mathbf{\Omega}_{i2}^{i2}=[\mathbf{U}_{i2}^{i1}]^{\mathrm{T}}.\,\mathbf{\Omega}_{i1}^{i1}+\mathbf{U}_{i2}^{\Omega i2}.\mathbf{\Omega}_{i2}=$$

$$\begin{bmatrix}\cos\Phi_{yi2} & 0 & -\sin\Phi_{yi2}\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\Phi_{yi2} & 0 & \cos\Phi_{yi2}\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}\dot{\theta}_{xi1}\\ \dot{\theta}_{yi1}\\ \dot{\theta}_{zi1}\end{bmatrix}+$$

$$+\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}0\\ \dot{\Phi}_{yi2}\\ 0\end{bmatrix}$$

Където

$$\mathbf{U}_{i2}^{i1}=\begin{bmatrix}\cos\Phi_{yi2} & 0 & \sin\Phi_{yi2}\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin\Phi_{yi2} & 0 & \cos\Phi_{yi2}\end{bmatrix} \qquad (9)$$

$$\mathbf{\Omega}_{i3}^{i3}=[\mathbf{U}_{i3}^{i2}]^{\mathrm{T}}.\,[\mathbf{U}_{i2}^{i1}]^{\mathrm{T}}.\mathbf{\Omega}_{i1}^{i1}+[\mathbf{U}_{i3}^{i2}]^{\mathrm{T}}.\mathbf{\Omega}_{i2}^{i2}+\mathbf{\Omega}_{i3}$$

$$\mathbf{U}_{\dot{\mathrm{i}}2}^{\dot{\mathrm{i}}1} = \begin{bmatrix} \cos\Phi_{y\dot{\mathrm{i}}2} & 0 & \sin\Phi_{y\dot{\mathrm{i}}2} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi_{y\dot{\mathrm{i}}2} & 0 & \cos\Phi_{y\dot{\mathrm{i}}2} \end{bmatrix}$$

при малки ъгли

$$\mathbf{U}_{\dot{\mathrm{i}}3}^{\dot{\mathrm{i}}2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\theta x_{\dot{\mathrm{i}}3} \\ 0 & \theta x_{\dot{\mathrm{i}}3} & 0 \end{bmatrix}$$

$\mathbf{\Omega}_{\dot{\mathrm{i}}3} = \begin{bmatrix}\theta_{x\dot{\mathrm{i}}3} & 0 & 0\end{bmatrix}^T$ - относителна ъглова скорост на тяло 3 (кабини), спрямо тяло 2 (носачи).

Векторите на ъгловите скоростите $\mathbf{\Omega}_{ij}^{ij}$, в свързаните с телата координатни системи се определят със символно програмиране и извеждане с продукта ”Mathematica” и компютър.

Вектори на скоростите на масовите центрове на телата в отправна координатна система C_{ij}

$$\mathbf{V}_{\mathbf{C}ij}^{\mathbf{0}} = \frac{dR_{\mathbf{C}ij}^{\mathbf{0}}}{dt}, \; i = 1,2,3,4, \; j = 1,2,3 \qquad (10)$$

Векторите на скоростите на масовите центрове $\mathbf{V}_{\mathbf{C}ij}^{\mathbf{0}}$, в отправната координатна система се определят със символно програмиране и извеждане с продукта ”Mathematika” и компютър.

Изводи:

В тази работа е изследвана кинематиката на междустълбие от лифт с четири кабини с хващачи, носачи и въже в 3D пространството с методите на матричната механика [1]. Получени са формули за линейните скорости на масовите центрове на съответните възли в неподвижните координатни системи и ъгловите им скорости спрямо свързаните с тях координатни. Получените формули се използват от авторите за изследване на динамиката и трептенията в 3D пространството на едновъжени линии.

Литература:

Ангелов, Ил. В, Матрична механика кинематика.Авангарт Прима,София,2008.

Ангелов, Ил.В. Матрично моделиране в 3D пространството на кинематиката ,динамиката и трептенията на механични модули и многомасови системи. Дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, ТУ, София, 2000.

Ахчийски.В, Ил. Ангелов. ”Кинемтатика на кабина, хващач, носач и въже от едновъжен кабинков лифт в 3D пространството”, Списание, ”Инженерно проектиране” 2012.

Amiroche, F. Computer – aided design and manufacturing. Prentice hall, Englewood Clifs, New Jersy, 1993.

Beer F. P., E. R. Johnston. Vector Mechanics for Engineers. McGraw-Hill Book Company.

Schneigert.Zbigniew.Aerial ropeways and funicular railways. 1966.

Walfram,S.Mathematica: A System for Doing Mathematics by Computer. Reading,Addison-Wesly, 1988.

KINEMATICS OF LIFT WITH FOUR CABINS, GRIPS, HANGERS AND ROPE IN 3D SPACE IN ONE COLUMN SPAN

V. AHCHIYSKI C. ANGELOV G. ILIEV

Abstract:

The kinematic of one column span with four cabins, grips, hangers and rope in 3D space are studied in this paper with methods of the matrix mechanic [1]. Formulas are obtained for linear velocities of mass centers of relevant units in a fixed coordinate system and angular velocities are calculated to relate with the coordinate systems. The obtained formulas are used for studies of the dynamic and oscillations in the 3D space of a cabins and its units, passengers and load in a monocable gondola lift. Case study is for one column span with four cabins, in horizontal or inclined plane, as slope can differ.