

**ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ  
МАШИНЫ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ**

ОӘК 656.037.747.9

Кабашев Рахимжан Абылкасымович – т.ғ.д., профессор (Алматы, ҚАЗЖИ)

Рысбаев Болат – физ.-мат.ғ.д., профессор (Алматы, ҚБТУ)

Черикбаев Рахат Канашевич – инженер-механик (Алматы, ҚазҰАУ)

**ШЫНЖЫР ТАБАНДЫ МАШИНАНЫҢ ТЕНДЕСТІРІЛГЕН АСПА  
ЖҰМЫСЫНЫҢ САРАПТАМАСЫ**

№ 14094 – «көлік құралдарының аспасы» патентіне сәйкес біздер машина тұғырының еріксіз тербелісінің екі жағдайына дифференциалдық теңдеу құрастырдық: 1 – аспасы серіппемен жабдықталған мобильді машина үшін; 2 – барлық тірек дөңгелектері теңдестірілген аспамен жабдықталған мобильді машина үшін. Бұл теңдеулерді құрастыру үшін екінші текті Лагранждың теңдеуі пайдаланылды:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} = Q_q,$$

мұндағы:  $T$  – кинетикалық энергия;  $\Pi$  – потенциалдық энергия;  $\Phi$  – диссипативтік функция;  $Q$  – айрықшаланған координата.

Айрықшаланған координаталар жүйесі ретінде біздер ауырлық центрінің тік бағыттағы қозғалысын (ауытқуын)  $Z_m$  және машина тұғырының бойлық бұрыштық тербелісін қабылдадық, өйткені бұл ауытқулар қозғалыс кезінде басқа ауытқулардан басым. Нәтижесінде дифференциалдық теңдеудің екі жүйесі алынды, олардың бір – бірінен айырмашылығы  $Z_m$  және  $\varphi$  ауыспалы шамалар алдындағы тұрақты коэффициенттері мәндерінде ғана. Бұдан ары, бұл теңдеулерді шешкеннен кейін ғана, сыртқы ауытқулардың жүріс бөлігі аспасы арқылы машина тұғырына берілуінің масштабты шамасы ретінде осы коэффициенттердің қызмет атқаратынына көз жеткіземіз. Біздің жағдайымызда бұл коэффициенттер ( $k_1$  және  $k_2$ ) дөңгелектің гидроцилиндрі мен гидроаккумулятордың көлденең қималары аудандарының қатынасын көрсетеді.

Төменде алынған дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу әдістері көрсетілген. Формуланы жазудың ыңғайлылығы үшін, біздер екі шартты белгі қабылдадық:  $\dot{z}$  - ауыспалы мәндердің бірінші туындысы, ал  $\ddot{z}$  - екінші туындысы. Солай болғанда, әдеттегі аспамен жабдықталған машина тұғырының тербелісінің келесідей дифференциалдық теңдеулер жүйесі алынды.

$$\begin{aligned} M \ddot{z}_m + 2\mu \dot{z}_m + C z_m + (a+b)\mu\dot{\varphi} + (aC_1 - bC_2)\varphi &= \\ &= \mu \dot{z}_1 + C_1 \dot{z}_1 - \mu \dot{z}_2 - C_2 z_2 \\ J\ddot{\varphi} + (a^2 - b^2)\mu\dot{\varphi} + (a^2 C_1 - b^2 C_2)\varphi + (a+b)\mu \dot{z}_m + (aC_1 - bC_2)z_m &= \\ &= a\mu \dot{z}_1 + aC_1 z_1 - b\mu \dot{z}_2 - bC_2 z_2 \end{aligned}$$

Бұл жүйені шешу үшін ол қалыпты түрге келтіріледі, яғни

$$\dot{x} = a_{11}x + a_{12}z_m + a_{13}y + a_{14}\varphi + f(t);$$

$$\dot{z}_m = x. \quad (1)$$

$$\dot{y} = b_{11}x + b_{12}z_m + b_{13}y + b_{14}\varphi + f_1(t);$$

$$\dot{\varphi} = y.$$

мұндағы:

$$a_{11} = -2 * \mu / m; \quad a_{12} = -C / m; \quad a_{13} = -(a + b)\mu / m; \quad a_{14} = -(aC_1 - bC_2) / m;$$

$$f(t) = \mu \dot{z}_1 + C_1 \dot{z}_1 - \mu \dot{z}_2 - C_2 z_2.$$

$$b_{11} = -(a + b)\mu / J; \quad b_{12} = -(aC_1 - bC_2) / J; \quad b_{13} = -(a^2 - b^2)\mu / J;$$

$$b_{14} = -(a^2 C_1 - b^2 C_2) / J;$$

$$f_1(t) = a\mu \dot{z}_1 + aC_1 z_1 - b\mu \dot{z}_2 - bC_2 z_2.$$

(1) – жүйе 4 – ретті Рунге–Кутт әдісімен шешіледі.

Ол үшін векторды енгіземіз

$$\vec{u} = (x, z_m, y, \varphi)$$

Бұл жағдайда (1) – жүйе былай өрнектеледі:

$$\dot{\vec{u}} = A\vec{u} + \vec{F}(t). \quad (2)$$

мұндағы:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \vec{F}(t) = \begin{pmatrix} f(t) \\ 0 \\ f_1(t) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Енді  $\vec{u}_n$  бастапқы жуық мәні беріледі, ал содан кейін келесі жуық мәнді табу үшін Рунге коэффициенті анықталады:

$$\vec{k}_1 = A\vec{u}_n + F(t_n); \quad \vec{k}_2 = A * \left( \vec{u}_n + \frac{dt}{2} \vec{k}_1 \right) + \vec{F} \left( t_n + \frac{dt}{2} \right);$$

$$\vec{k}_3 = A * \left( \vec{u}_n + \frac{dt}{2} \vec{k}_2 \right) + \vec{F} \left( t_n + \frac{dt}{2} \right); \quad \vec{k}_4 = A * \left( \vec{u}_n + dt * \vec{k}_2 \right) + \vec{F} (t_n + dt);$$

Осыдан кейін, келесі жуық мән мына формуламен анықталады:

$$\vec{u}_{n+1} = \vec{u}_n + (\vec{k}_1 + 2\vec{k}_2 + 2\vec{k}_3 + \vec{k}_4) / 6.$$

Барлық тірек дөңгелектері теңдестірілген аспамен жабдықталған машина тұғыры тербелісінің дифференциалдық теңдеулері жүйесі де жоғарыда келтірілген әдіспен шешіледі. Олай болса:

$$\begin{aligned} M \ddot{z}_m + 2\mu \dot{z}_m + C(k_1 + k_2)z_m + (a + b)\mu\dot{\varphi} + (ak_1C_1 - bk_2C_2)\varphi = \\ = \mu \dot{z}_1 + k_1C_1\dot{z}_1 - \mu \dot{z}_2 - k_2C_2z_2 \\ J\ddot{\varphi} + (a^2 - b^2)\mu\dot{\varphi} + (k_1a^2C_1 - k_2b^2C_2)\varphi + (a + b)\mu \dot{z}_m + \\ (ak_1C_1 - bk_2C_2)z_m = a\mu \dot{z}_1 + ak_1C_1 z_1 - b\mu \dot{z}_2 - bk_2C_2 z_2 \end{aligned}$$

(3) жүйе де қалыпты түрге келтіріледі, яғни

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a_{11}x + a_{12}z_m + a_{13}y + a_{14}\varphi + f(t); \\ \dot{z}_m &= x; \\ \dot{y} &= b_{11}x + b_{12}z_m + b_{13}y + b_{14}\varphi + f_1(t); \\ \dot{\varphi} &= y. \end{aligned} \tag{4}$$

мұндағы:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -2 * \mu / m; \quad a_{12} = -C(k_1 + k_2) / m; \quad a_{13} = -(a + b)\mu / m; \\ a_{14} &= -(ak_1C_1 - bk_2C_2) / m \\ f(t) &= \mu \dot{z}_1 + k_1C_1\dot{z}_1 - \mu \dot{z}_2 - k_2C_2z_2 \\ b_{11} &= -(a + b)\mu / J; \quad b_{12} = -(ak_1C_1 - bk_2C_2) / J; \quad b_{13} = -(a^2 - b^2)\mu / J; \\ b_{14} &= -(k_1a^2C_1 - k_2b^2C_2) / J; \\ f_1(t) &= a\mu \dot{z}_1 + aC_1z_1 - b\mu \dot{z}_2 - bC_2z_2 \end{aligned}$$

(4) жүйе де (3) жүйе сияқты матрица түрінде жазылады және 4 - ретті Рунге-Кутт әдісімен шешіледі.

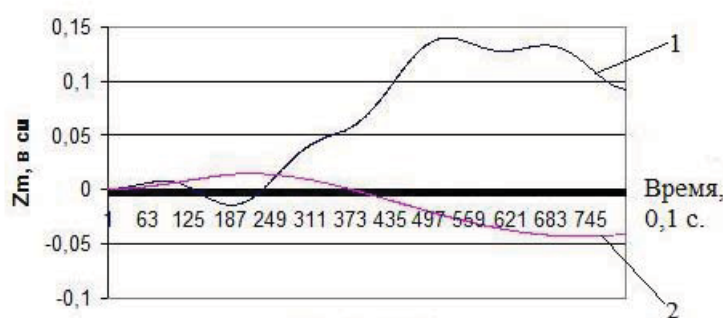
Есептеу үшін  $dt=0,1$  с. уақыттық қадам таңдап алынды, бастапқы жуық мәні  $\vec{u}_0 = 0$  және 1 – кестеде келтірілген машинаның құрылымдық параметрлері алынды. Айнымалы сандық мәндерді есептеу кезінде тәжірибенің барлық үш нұсқасында да жолдың тегіс еместігі ұзындығы өзгертілді.

1 - кесте.

№ вар.	$m$	$\mu$	$k_1$	$k_2$	$C$	$a$	$b$	$J$
1	1000	3000	0.04	0.05	300	1.1	0.9	1210
2	4000	3000	0.04	0.05	500	1.5	1.3	1500
3	7400	3000	0.04	0.05	1400	1.8	1.5	2500

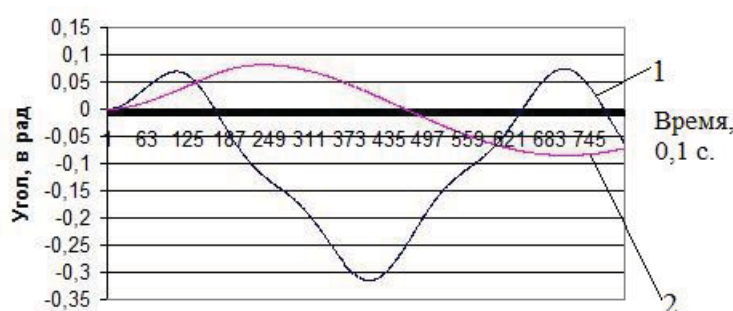
Төменде алынған нәтижелердің графиктері келтірілген. 1 және 2-суреттерде  $z_m$  мен  $\varphi$  уақыт бойынша өзгерістерінің салыстырмалы графигі келтірілген.

Көрсетілген суреттерде, мысал ретінде, машинаның ауырлық центрінің тік сызықтық тербелісінің  $z_m(t)$  көптеген есептерінің нәтижелері және машина  $\varphi(t)$  тұғырының бойлық бұрыштық тербелісі (галопирование) екі нұсқада радианмен келтірілген: 1 – машина үшін пайдаланылып жүрген аспа бойынша және 2 – ұсынылған аспа бойынша. Мысалы, машинаның ауырлық центрінің (1 - сурет) ауытқуы пайдаланылып жүрген аспа үшін  $Z_{\max} = 14,0$  см., ал ұсынылған аспада бар болғаны  $Z_{\max} = 4,0$  см. Осындай жағдай бойлық бұрыштық тербелістің (2 - сурет) графигінде қайталанатын, яғни пайдаланылып жүрген аспа үшін горизонттан максимал бұрыштық ауытқуы  $\varphi_{\max} = 0,32$  радиан (18,3 градус), ал ұсынылған аспа үшін  $\varphi_{\max} = 0,07$  радианға (4,0 градус) тең.



1- пайдаланымдағы аспа үшін; 2 – ұсынылған аспа үшін

1- сурет. Ауырлық центрінің тік сызықтық тербелісінің графиктері:



1- қолданыстағы аспа үшін; 2 – ұсынылған аспа үшін

2 - сурет. Машина тұғырының бойлық-бұрыштық тербелісінің графиктері

Осылайша, ұсынылып отырған аспаны жүккөтергіштігі мен атқаратын қызметінен тәуелсіз барлық автомобильдерде, ауылшаруашылық және өндірістік мәндегі барлық тракторларда, жол-құрылыс машиналарының барлық түрлерінде пайдалануға болады.

#### ӘДЕБИЕТ

1. Алиев Б. и др. Патент № 14094-подвески колес транспортных средств, 1973.
2. Лойцянский Л.Г и др. Курс теоретической механики М., 1955, 385 с.

УДК 621.928.24

Сурашов Нургали Толымбекович - д.т.н, профессор (Алматы, КазАТК)  
Елемес Дархан Елемесулы – соискатель (Усть-Каменогорск, ВКГТУ)

#### СОЗДАНИЕ СПИРАЛЬНОГО ГРОХОТА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КУЛАЧКОВЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ

В области разделения сыпучих материалов по классам крупности актуальным является повышение эффективности процесса сортировки строительных материалов, а также влажных материалов с наличием илистых и глинистых частиц. Как известно из практики, основной проблемой классификации мелкодисперсных сред является низкая сортирующая способность грохотов – забивание поверхности грохочения [1, 2]. Практика