

ПРОХОДИМОСТ НА РУДНИЧЕН САМОСВАЛ ПРЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕН ПЪТ СЪС СТРАНИЧЕН НАКЛОН

Стефан Пулев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В настоящата работа се разглежда движението на рудничен самосвал по праволинеен път с напречен наклон. Използва се едномасов динамичен модел с една сепен на свобода. За обобщена координата е избран ъгълът на завъртане около надлъжната ос на самосвала, минаваща през центъра на тежестта. Диференциалното уравнение на напречните ъглови трептения е съставено и решено аналитично. Приема се, че страничното преобръщане настъпва, когато нормалната реакция на пътя върху горните колела стане равна на нула. Определени са критичните стойности на напречния наклон на пътя, при който е възможно странично преобръщане.

ROADABILITY OF A MINING DUMPER TRUCK ON ROADS WITH TRANSVERSE SLOPE

Stefan Pulev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. This work investigates the motion of a mining dumper truck on a straight road with a significant transverse slope. A one-mass dynamic model with one degree of freedom is used. The angle around the longitudinal axis that passes through the truck's centre of mass is chosen as a generalised coordinate. The differential equation of the transverse angular vibrations is derived and solved analytically. It is assumed that a side overturn happens when the normal force of the road on the upper set of wheels reaches zero. The critical values of the road's transverse slope that may lead to a side overturn are calculated.

Увод

Проходимостта е експлоатационно свойство на автомобилите, изразяващо се в способността им да се движат при влошени пътни условия. Поради множество обективни и субективни причини технологичните пътища, по които се движат рудничните самосвали, са изпълнени с неравности, наклони, препятствия, хлъзгави и податливи участъци. При тези условия загубата на проходимост може да бъде пълна или частична, т.е. движението може да бъде напълно преустановено или да продължи с намалена скорост (производителност).

Настоящата работа си поставя за цел изучаването на условията за загуба на устойчивост на рудничния самосвал при преминаване по праволинеен хоризонтален път със страничен наклон, изразяваща се в странично преобръщане. Целта е определянето на критичния ъгъл на наклона, при който се наблюдава загуба на проходимост.

Динамичен модел

Разглеждаме движение на рудничен самосвал по праволинеен хоризонтален участък от пътя, характеризиращ се със страничен наклон α (фиг. 1). Скоростта е постоянна и липсват инерционни сили в надлъжно направление.

Поради сложността на изследваните явления се налага да се изключат несъществените фактори. Ето защо в началото се въвеждат следните допускания:

1. Пътят е без микрограпавини и надлъжни наклони.
2. Рудничния самосвал се движи с постоянна скорост v по праволинеен път със страничен наклон.
3. Извършват се само напречни ъглови трептения. Пренебрегват се вертикалните и надлъжните ъглови трептения.
4. Съществува симетрия в конструкцията между лявата и дясната страна спрямо надлъжната равнина, минаваща през центъра на тежестта на самосвала.
5. Колелата запазват сцеплението си с опорната повърхност и отсъства странично плъзгане, което би довело до излизане на рудничния самосвал от пътя.

Направени са следните означения:

φ - обобщена координата (напречно завъртане на рамата на самосвала около надлъжната ос, минаваща през центъра на тежестта);

I - инерционен момент на автомобила спрямо надлъжната ос, минаваща през центъра на тежестта;

m - маса на самосвала, заедно с транспортирания товар;

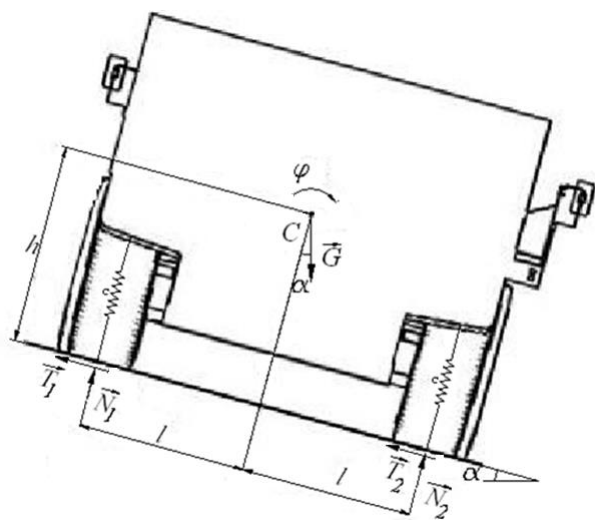
c - приведен коефициент на еластичност на лявото или дясното окачване;

N_1, N_2 – нормална реакция на пътя съответно върху левите и десните колела;

T_1, T_2 – тангенциална реакция на пътя съответно върху левите и десните колела;

h – височина на центъра на тежестта на самосвала;

$2l$ – разстояние между левите и десните колела.



Фиг. 1. Динамичен модел

Кинетичната енергия на трептящата система е функция на обобщените скорости и има вида:

$$T = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\dot{\varphi}^2}{2}.$$

Потенциалната енергия на системата се поражда от двете пружини и е

$$\Pi = c(l\varphi)^2.$$

Статичната деформация на лявото и дясното окачване в положението на статично равновесие е съответно $\delta_{1,0}$ и $\delta_{2,0}$. За да има равновесие в зоната на контакт на колелата с пътя трябва нормалните реакции да са равни по големина на еластичните сили в пружините, т.е.

$$N_{1,0} = c\delta_{1,0}, \quad N_{2,0} = c\delta_{2,0}.$$

От условията за статично равновесие на рудничния самосвал могат да се изведат равенствата:

$$N_{1,0} = \frac{l.m.g.\cos\alpha - h.m.g.\sin\alpha}{2l}$$

$$N_{2,0} = \frac{l.m.g.\cos\alpha + h.m.g.\sin\alpha}{2l}.$$

За динамичните нормални опорни реакции са в сила формулите:

$$N_1 = c(\delta_{1,0} - l\varphi) = N_{1,0} - c.l.\varphi = \frac{l.m.g.\cos\alpha - h.m.g.\sin\alpha}{2l} - c.l.\varphi, \quad (1)$$

$$N_2 = c(\delta_{2,0} + l\varphi) = N_{2,0} + c.l.\varphi = \frac{l.m.g.\cos\alpha + h.m.g.\sin\alpha}{2l} + c.l.\varphi \quad (2)$$

При допира на колелата с пътя възникват и тангенциални реакции T_1 и T_2 , чиито посоки са противоположни на посоката на възможното странично преместване на рудничния самосвал върху пътя.

За да има равновесие трябва да е изпълнено условието

$$T_1 + T_2 = m.g.\sin\alpha.$$

Силите от двете страни на последното равенство образуват двоица с момент

$$M = h.m.g.\sin\alpha,$$

който е обобщеният момент по направление на обобщената координата.

Използвайки уравнението на Лагранж от II ред

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} + M$$

получаваме диференциалното уравнение, описващо напречните ъглови трептения на самосвала около центъра му на тежестта

$$\ddot{\varphi} + \frac{2c.l^2}{I}.\varphi = \frac{h.m.g.\sin\alpha}{I}.$$

Това е нехомогенно диференциално уравнение от II ред с постоянни коефициенти, чието решение сума от решението на съответстващото му хомогенното уравнение и един частен интеграл. Решението на хомогенното уравнение е

$$\varphi_0 = C_1 \cos \sqrt{\frac{2cl^2}{I}}t + C_2 \sin \sqrt{\frac{2cl^2}{I}}t,$$

където C_1 и C_2 са интеграционни константи. Търсим и едно частно решение от вида

$$\eta = A, \quad \dot{\eta} = \ddot{\eta} = 0.$$

След заместване на η в диференциалното уравнение получаваме

$$A = \frac{h.m.g.\sin\alpha}{2cl^2}.$$

Общият интеграл на диференциалното уравнение е

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \eta = \\ &= C_1 \cos \sqrt{\frac{2cl^2}{I}} t + C_2 \sin \sqrt{\frac{2cl^2}{I}} t + \frac{h.m.g.\sin\alpha}{2cl^2} \end{aligned}$$

При нулеви начални условия намираме, че интеграционните константи се пресмятат по следния начин:

$$C_1 = -\frac{h.m.g.\sin\alpha}{2cl^2} \text{ и } C_2 = 0.$$

Следователно законът за напречните ъгли трептения има вида:

$$\varphi = \frac{h.m.g.\sin\alpha}{2cl^2} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{2cl^2}{I}} t \right).$$

Известно е, че

$$-1 \leq \cos l \cdot \sqrt{\frac{2c}{I}} \cdot t \leq 1$$

Тогава най-голямата стойност на обобщената координата ще се получи, когато

$$\cos l \cdot \sqrt{\frac{2c}{I}} \cdot t = -1 \Rightarrow 1 - \cos \sqrt{\frac{2cl^2}{I}} t = 2$$

и ще има следния вид:

$$\varphi_{\max} = \frac{h.m.g.\sin\alpha}{cl^2}. \quad (3)$$

Странично преобръщане надясно може да настъпи, когато масата на самосвала е отклонена максимално надясно и нормалната реакция на пътя върху левите колела стане равна на нула. Тези условия могат да се изразят по следния начин:

$$\varphi = \varphi_{\max} \text{ и } N_1 \leq 0.$$

От горните условия и от (1) и (4) се получава следното неравенство за определяне на ъгъла, при който настъпва страничното преобръщане:

$$\frac{l.m.g.\cos\alpha - h.m.g.\sin\alpha}{2l} - c.l.\varphi_{\max} \leq 0$$

$$\frac{l.m.g.\cos\alpha - h.m.g.\sin\alpha}{2l} - \frac{h.m.g.\sin\alpha}{l} \leq 0$$

$$l.m.g.\cos\alpha - 3h.m.g.\sin\alpha \leq 0$$

$$\operatorname{tg}\alpha \geq \frac{l}{3h}$$

Най-малкият ъгъл, който удовлетворява горното неравенство се означава с $\alpha_{кр}$ и представлява критичния страничен наклон. Той се пресмята по формулата

$$\alpha_{кр} = \arctg\left(\frac{l}{3h}\right). \quad (4)$$

Интересно е да се сравни резултата за $\alpha_{кр}$ по формула (4) с критичния наклон $\alpha_{кр}^I$, получен без отчитане на напречните трептения на рудничния самосвал. По чисто геометрични съображения се получава зависимостта

$$\alpha_{кр}^I = \arctg\left(\frac{l}{h}\right) \quad (5)$$

Сравнението на формули (4) и (5) показва, че тангенса на критичния ъгъл при неотчитане на напречните трептения е три пъти по-голям от този, получен с отчитане на трептенията на самосвала.

Изводи

Използвайки изведената формула (4) ще пресметнем стойността на критичния ъгъл, при който е възможно странично преобръщане, за рудничен самосвал БЕЛАЗ 75131. При стойности на параметрите $h = 5 \text{ m}$ и $l = 2,55 \text{ m}$ се получава $\alpha_{кр} = 9,65^\circ$. Поради неотчитане влиянието на пътните неравности и други случайни фактори, от съображения за по-голяма сигурност можем да препоръчаме максималните странични наклони за този модел руднични самосвали да не превишават $9,5^\circ$.

Ако се приложи зависимост (5) за същия самосвал се получава $\alpha_{кр}^I = 27^\circ$. Разликата между стойностите на $\alpha_{кр}$ и $\alpha_{кр}^I$ е много голяма и доказва предимствата и значението на изведената формула (4).

Получените резултати могат да послужат в работата на техническия персонал, зает с експлоатацията на рудничните самосвали и с поддръжката на технологичните пътища в откритите рудници за недопускане на производствени аварии и повишаване проходимостта на използваните транспортни средства.

Литература

- Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981, 232 с.
 Карьерные самосвалы БЕЛАЗ-75131, БЕЛАЗ-75132. Руководство по эксплуатации 7513-3902015 РЭ. ПО "Белорусский автомобильный завод", 2004 г.
 Пулев Ст. Н. Трептения на рудничния самосвал. Издателска къща на МГУ „Св. Иван Рилски“, София 2012.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. "Техническа механика".