

ВЛИЯНИЕ НА ПРЕВОЗВАНИЯ ТОВАР ВЪРХУ ТРЕПТЕНИЯТА НА РУДНИЧНИЯ САМОСВАЛ

Стефан Пулев
st_pulev@yahoo.com

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", катедра „Техническа механика”,
1700 София, Студентски град, ул. "проф. Боян Каменов”,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** рудничен самосвал, трептения, превозван товар, натиск на колелата върху пътя.*

***Резюме:** Поради своята голяма маса превозваният товар въздейства силно върху трептенията на рудничния самосвал. С повишаването на товароносимостта, каквато тенденция се наблюдава, нараства и влиянието на товара. Целта на това изследване е да се направи количествена оценка за влиянието на транспортирания товар върху трептенията на самосвала. Разглежда се случая, когато превозвания товар се е отделил (отскочил) еднократно и пада отново върху самосвала. Възможна причина за такова отскачане може да бъде преминаване през единична неравност с несъобразено висока скорост. Приема се, че след като е паднал товарът повече не се отделя от платформата и извършва вертикални трептения заедно със самосвала. Пренебрегват се другите източници на трептения, като например пътните неравности и смущенията от двигателя. Самосвала се движи по равен праволинеен път със стационарна експлоатационна скорост. Разглежда се едномасов динамичен модел на рудничен самосвал с една степен на свобода. Той е приложим за така наречения „симетричен” автомобил, при който вертикалните и ъгловите трептения са независими. Диференциалните уравнения за вертикалните трептения на самосвала са получени и решени аналитично. Графично са представени законът за движението, вибрационните скорости и ускорения, натискът на колелата върху пътя. Направеният числен експеримент показва, че колелата на самосвала загубват контакт с повърхността на пътя. Това може да доведе до тежки аварии, като например излизане на самосвала от пътя или преобръщане. Препоръчва се водача да снижава скоростта на движение в участъците от пътя с големи неравности. По този начин ще се намали вероятността за отскачане на товара.*

Превозваният товар въздейства силно върху трептенията на рудничния самосвал. Причините могат да се търсят в голямата експлоатационна маса на товара и обстоятелството, че няма как той да се застопори върху платформата. С повишаването на товароносимостта, каквато тенденция се наблюдава, нараства и влиянието на товара.

Целта на това изследване е да се направи количествена оценка за влиянието на транспортирания товар върху трептенията на самосвала. Ще разгледаме случая, когато

товарът се е отделил (отскочил) и пада отново върху самосвала от височина h . Възможна причина за такова отскачане може да бъде преминаване през единична неравност с несъобразено висока скорост.

Динамичен модел

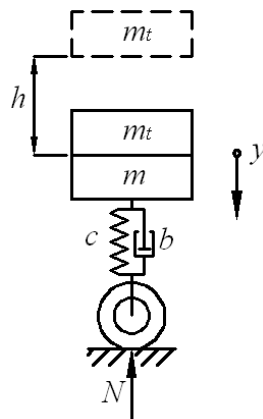
На фигура 1 самосвалът е изобразен като еластично окачена трептяща маса с една степен на свобода. Този динамичен модел е приложим за така наречения „симетричен“ автомобил, при който вертикалните и ъгловите трептения не са свързани. Освен това центровете на тежестта на автомобила и товара се намират върху вертикалната ос y през цялото време. Като обобщена координата се използва вертикалното преместване y на самосвала. Направени са следните означения:

m - пълна маса на самосвала заедно с товара,

m_t - маса на товара,

c -приведен коефициент на еластичност на окачването,

b - коефициент на демпфиране.



Фигура 1. Динамичен модел.

Приемайки този динамичен модел се абстрахираме от другите източници на трептения, като например пътните неравности и смущенията от двигателя. Считаме, че самосвала се движи по равен праволинеен път със стационарна експлоатационна скорост. При изследване на движението приемаме, че след като е паднал от височина h товарът повече не се отделя от платформата и извършва трептения заедно със самосвала.

Кинетичната енергия на товара в момента, в който той се удря в платформата на самосвала е $\frac{m_t v_t^2}{2}$. Извършената от силата на тежестта работа при падането е $m_t gh$.

Съгласно теоремата за изменение на кинетичната енергия е изпълнено равенството $\frac{m_t v_t^2}{2} = m_t gh$. Следователно скоростта на товара непосредствено преди удара е $v_t = \sqrt{2gh}$. Количеството на движение преди удара е $m_t \cdot \sqrt{2gh}$. След удара товара не се отделя от самосвала и количеството на движение е $m \cdot \dot{y}_0$, където \dot{y}_0 е общата им скорост и същевременно начална скорост на трептенията. Съгласно теоремата за запазване на количеството на движението е в сила равенството $m \cdot \dot{y}_0 = m_t \cdot \sqrt{2gh}$, откъдето за началната скорост на трептенията се получава

$$\dot{y}_0 = \frac{m_t \cdot \sqrt{2gh}}{m}.$$

Според основното уравнение в динамиката на точка за динамичния модел от фигура 1 е в сила уравнението:

$$m \cdot \ddot{y} = F_y.$$

Върху трептящата маса действа възстановяващата еластична сила $c \cdot (y + y_{cm})$, чиято посока е противоположна на посоката на преместване на масата. С y_{cm} е означена статичната деформация на пружината. Демпфера създава съпротивителна сила, пропорционална на първата степен на скоростта: $b \cdot \dot{y}$. Действа и силата на тежестта $m \cdot g$. Като заместим изразите за силите в дясната страна на основното уравнение в динамиката на точка получаваме уравнението:

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot g - c \cdot (y + y_{cm}) - b \cdot \dot{y}.$$

В положението на статично равновесие са изпълнени условията:

$$\ddot{y} = \dot{y} = y = 0.$$

Като ги заместим в последното уравнение получаваме условието за равновесие на силите в положението на статично равновесие:

$$m \cdot g - c y_{cm} = 0.$$

Следователно диференциалното уравнение, описващо вертикалните трептения на самосвала е хомогенно, от втори ред с постоянни коефициенти:

$$m \ddot{y} + b \dot{y} + c y = 0.$$

Собствената кръгова честота на трептящата система е $k = \sqrt{\frac{c}{m}}$, а коефициента на затихване е $n = \frac{b}{2m}$. При тези означения диференциалното уравнение приема вида

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + k^2 y = 0.$$

Налице е малко съпротивление, $n < k$. В този случай решението се представя по следния начин:

$$y = e^{-nt} (C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t).$$

След еднократно диференциране спрямо времето получаваме скоростта на трептенията:

$$\dot{y} = -n \cdot e^{-nt} (C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t) - \sqrt{k^2 - n^2} \cdot e^{-nt} (C_1 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t - C_2 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t)$$

Началното преместване е $y_0 = -\frac{m_t g}{c}$, а началната скорост \dot{y}_0 е представена по-горе. Следователно за интеграционните константи се получава:

$$C_1 = -\frac{m_t g}{c}, C_2 = \frac{m_t}{\sqrt{k^2 - n^2}} \left(-\frac{ng}{c} + \frac{\sqrt{2gh}}{m} \right).$$

Окончателно законът за малките трептения на самосвала придобива вида:

$$(1) \quad y = e^{-nt} \left(-\frac{m_t g}{c} \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + \frac{m_t}{\sqrt{k^2 - n^2}} \left(-\frac{ng}{c} + \frac{\sqrt{2gh}}{m} \right) \sin \sqrt{k^2 - n^2} t \right)$$

След падането на товара върху платформата се наблюдават свободни затихващи трептения. Поради наличието на демпфери те бързо затихват, но инерционните сили са значителни и рязко влошават плавността.

Скоростта на вертикалните трептения се определя от израза

$$(2) \quad \dot{y} = -n.e^{-nt} \left(-\frac{m_t g}{c} \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + \frac{m_t}{\sqrt{k^2 - n^2}} \left(-\frac{ng}{c} + \frac{\sqrt{2gh}}{m} \right) \sin \sqrt{k^2 - n^2} t \right) + \sqrt{k^2 - n^2} .e^{-nt} \left(+\frac{m_t g}{c} \sin \sqrt{k^2 - n^2} t + \frac{m_t}{\sqrt{k^2 - n^2}} \left(-\frac{ng}{c} + \frac{\sqrt{2gh}}{m} \right) \cos \sqrt{k^2 - n^2} t \right)$$

Виброускоренията могат да се пресметнат с помощта на (1) и (2) по формулата

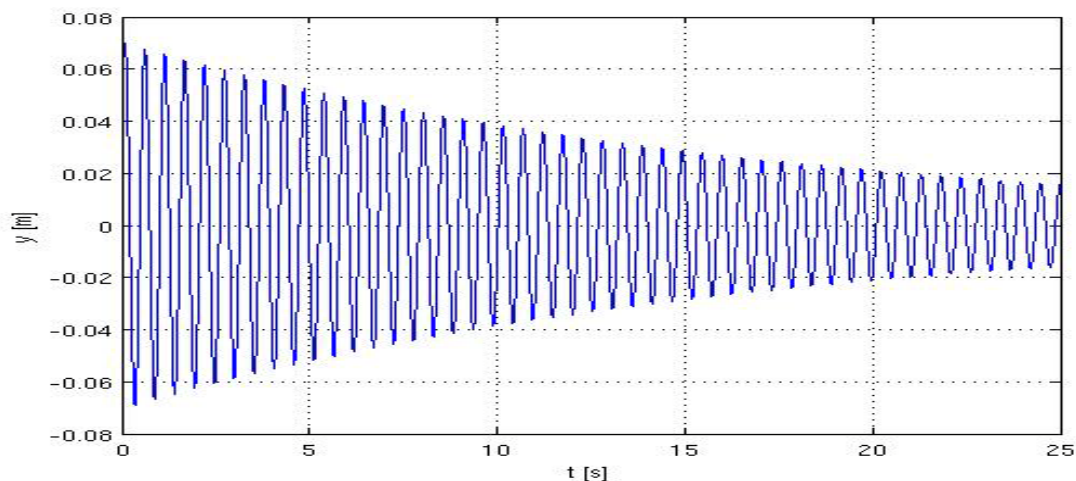
$$(3) \quad \ddot{y} = -2n\dot{y} - k^2 y.$$

Полезно е да се изследва и нормалната реакция N на пътя върху колелата на самосвала. Съгласно условието за равновесие на силите при контакта на колелата с опората, нормалната реакция е равна на усилието в еластичния елемент, т.е.

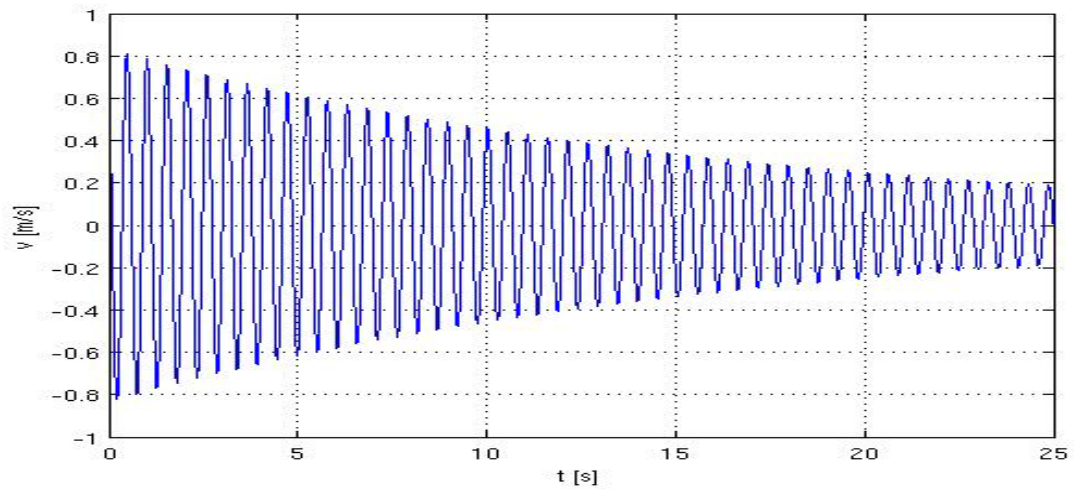
$$(4) \quad N = c.(y + y_{cm}) + b.\dot{y} = m.g + c.y + b.\dot{y}$$

Числен пример

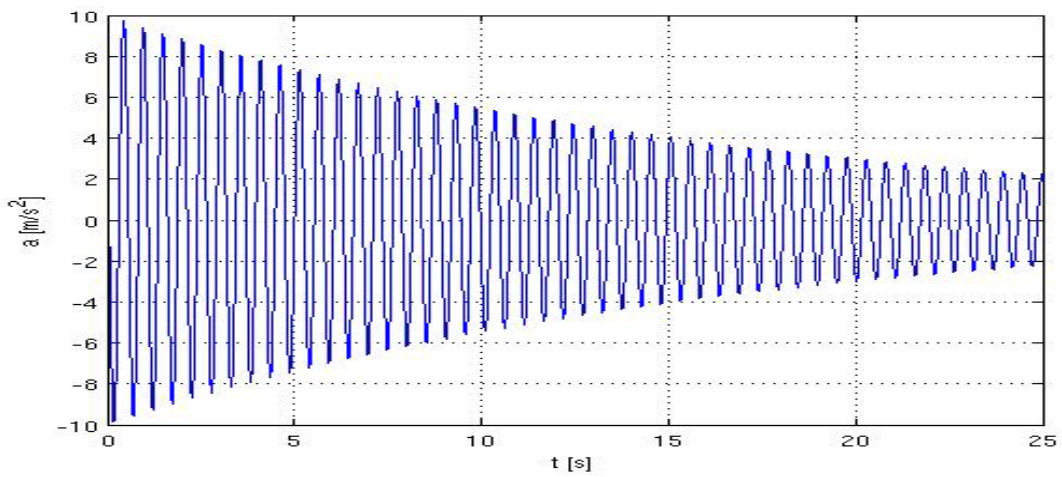
С помощта на аналитично изведения закон (1) за вертикалните трептения и формули (2) и (3) ще пресметнем вертикалните премествания, скоростите и ускоренията на рудничен самосвал БЕЛАЗ 75131, използван при открит добив на полезни изкопаеми. Стойностите на параметрите са $m = 235000kg$, $m_t = 130000kg$, $c = 33130000N/m$, $b = 25400N.s/m$. Височината, от която пада товара е $h = 8cm = 0,08m$. На фигури 2, 3 и 4 са представени графично закона за движение и виброграми на скоростите и ускоренията съгласно формули (1), (2) и (3).



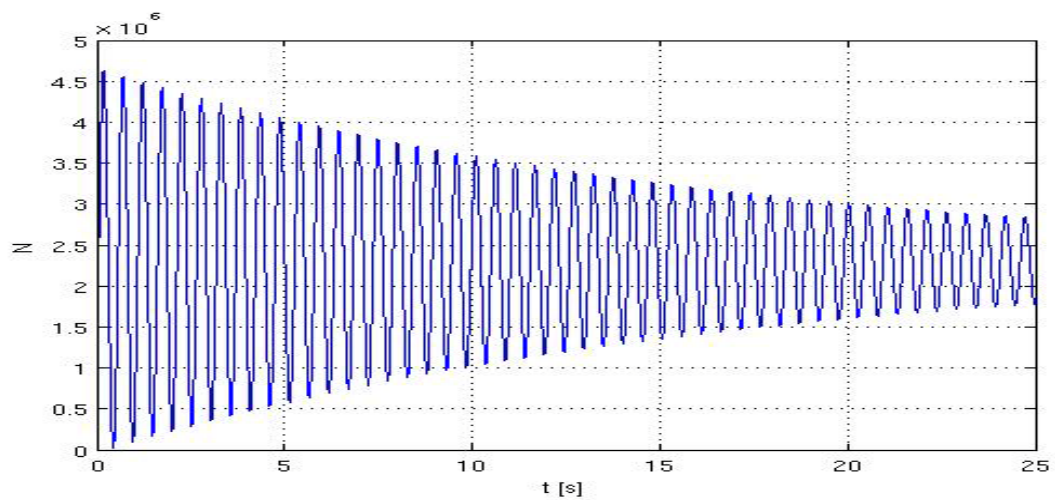
Фигура 2. Закон за вертикалните трептения на рудничния самосвал.



Фигура 3. Виброграма на скоростта на трептенията.



Фигура 4. Виброграма на ускорението.



Фигура 5. Изменение на нормалната реакция на пътя върху колелата на самосвала.

Резултатите от числения експеримент показват, че едно подскачане на товара с 8cm предизвиква максимална амплитуда на трептенията на рудничния самосвал от около 7cm . Максималното ускорение е 10m/s^2 и поради голямата маса на самосвала и пренасяния товар възникват периодично променливи инерционни сили с приблизителна големина 2350kN , които натоварват допълнително елементите на окачването.

На фигура 5 е представено изменението на нормалната реакция на пътя върху колелата на самосвала, като за целта е използвана формула (4). В началото, при първите няколко трептения, се отчитат много близки до нулата стойности на нормалната реакция. Това означава че има моменти, в които самосвалът може да загуби контакт с пътя. Нарушеното сцепление на колелата с опората е изключително опасно защото води до влошаване на устойчивостта и управляемостта, изразяващо се в излизане от пътя или преобръщане. От фигура 5 може да се отчете и максимален натиск $4,7\text{MN}$ на рудничния самосвал върху пътя.

Всичко това показва, че не трябва да се подценява ролята на пренасяния товар като източник на трептения в рудничния самосвал. Особено важно е водача да реагира правилно при преодоляване на препятствията, да съобрази скоростта на движение за да не се допусне отделяне на товара от платформата на самосвала.

Изводи

1. Превозваният товар може да стане източник на трептения, ако се допусне отскачането му от платформата на рудничния самосвал.
2. При падането си върху самосвала товарът предизвиква свободни затихващи трептения. Колелата загубват контакт с пътната повърхност. Това може да е причина за тежки производствени аварии, като например излизане от пътя и преобръщане на рудничния самосвал.
3. Решаваща е ролята на водача, който трябва да снижава скоростта на движение в участъците с големи неравности. По този начин ще се намали вероятността за отскачане на товара.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.] КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ БЕЛАЗ-75131, БЕЛАЗ-75132. Руководство по эксплуатации 7513-3902015 РЭ. ПО “Белорусский автомобильный завод”, 2004 г.
- [2.] Пулев Ст. Н. Трептения на рудничния самосвал. Издателска къща на МГУ, „Св. Иван Рилски”, София 2012.
- [3.] Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М.: Машгиз, 1960, 225с.

THE INFLUENCE OF THE LOAD ON THE VIBRATIONS OF A MINING DUMPER TRUCK

Stefan Pulev

st_pulev@yahoo.com

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”,
Department of Mechanics, 1700 Sofia, BULGARIA*

Key words: *mining dumper truck, vibrations, carried load, wheels' pressure on the road.*

Abstract: *The vibration of a mining dumper truck is greatly affected by the large mass of its load. This influence is directly proportional to the increase in load capacity, which is an existing trend. The purpose of this study is to quantify the impact of the carried load on the vibrations of the truck. The case when the load detaches (jumps) and falls back down is investigated. It is assumed that this is a single jump followed by the vertical vibrations of both the truck and the load without further detachments from the carrying platform. Passing through a single road bump with unreasonably high speed is a possible reason for the jump. Other causes of vibration such as road surface roughness or engine operation, for example, are not taken into consideration. The mining dumper is assumed to travel at a constant operational speed on a road with zero inclination. A one-mass dynamic model of the mining dumper truck with one degree of freedom is investigated. This model is applied to the so called symmetric vehicles whose vertical and horizontal vibrations are independent of each other. The differential equations for the vertical vibrations are derived and solved analytically and numerically. The law of motion, the vibrations' speed and acceleration, and the wheels' pressure on the road are shown graphically. The conducted numerical experiment shows that the wheels of the truck loose contact with the road. This may cause severe accidents such as a veer-off or an overturn. The driver is advised to reduce the speed in rough sections of the road to reduce the likelihood of the load jumping.*