

СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТОВАРВАНЕТО НА КОЛЕЛАТА НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ВОЗИЛА В ДВИЖЕНИЕ С ЕКСПЛОАТАЦИОННА СКОРОСТ

Емил ДИМИТРОВ, Тома РУЖЕКОВ, Ненчо НЕНОВ
edim@vtu.bg

Емил Димитров, доц. д-р, ТУ – София, Тома Ружеков, проф. д-р, Ненчо Ненов, доц. д-р, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 1574, ул. "Гео Милев" 158,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: - Предлаганата работа е посветена на разработването на имитационен модел на система за измерване на товарването на колелата на железопътни возила в движение с експлоатационна скорост. Целта е да се определи възможността за изграждане на система за определяне стойността на приложената сила върху релсата от страна на колелото на основата на реакцията на подрелсовото основание.

Определените метрологични качества на отбелязаната система с помощта на модела, както и добрите възможности от техническа страна за нейното реализиране, показват, че възприетия принцип е целесъобразен.

Разработеният имитационен модел е с възможност, при зададени конкретни изисквания към системата, да бъдат определени с негова помощ основните ѝ параметри и на тази основа да се извърши проектирането на системата.

Ключови думи: Железопътни возила, динамика на железопътни возила, натоварване на колелата на железопътни возила.

УВОД

Надеждностните характеристики на железопътния транспорт в особено голяма степен зависят от натоварването на колелата на возилата, както по абсолютна стойност, така и по отношение на разлики между техните стойности за отделните колелата на дадено возило. Влияние на отбелязаното, по конкретно, се открива в следните основни направления:

– изменение на интензивността и характера на износване на повърхността на търкаляне и ребордите на колелата;

– намаляване на ограничението на теглителната сила на локомотива по сцепление на неговите колелата с релсите;

– намаляване на дълготрайността на основни елементи от ходовата част;

– намаляване на направляващата способност на колоосите и повишаване на възможността за дерайлиране на колооси;

– влошаване състоянието на железния път, а в резултат на това – увеличаване на стойностите на силите на взаимодействие на железопътните возила и пътя и по-нататъшна интензификация на негативните процеси в отбелязаните направления.

Посоченото явно намалява сигурността на движението, с което има не само влияние върху икономическата ефективност на железопътния транспорт, но е и значим фактор за създаване на проблеми с хуманитарен характер. За установяване на натоварването на колелата е необходимо реализирането на измервателни съоръжения. За локомотивите е необходимо измерванията на натоварването на колелата им да бъде извършвано основно в статично положение

или при движение със скорости под $3=4\text{m/s}^*$ [3]. Същото има и определен смисъл и за пътническите вагони. При товарните вагони обаче е целесъобразно системата за измерване натоварването на колелата им да е с възможност това да се извършва при движение с експлоатационна скорост. Резултатите от подобни измервания са от значение и за точното определяне теглото на превозваните товари.

Публикувани данни в чужбина за системи за измерване натоварването на колелата на железопътните возила в движение са оскъдни и имат рекламен характер [2]. Посоченото е причината авторите на материала да изследват възможна реализация на система за измерване натоварването на колелата на локомотиви и вагони в движение с експлоатационни скорости с цел практическото ѝ реализиране. В следващото се дават сведения за основните стъпки извършени в тази насока и анализ на получените от това резултати.

ИМИТАЦИОНЕН МОДЕЛ НА МЕХАНИЧНАТА ЧАСТ НА СИСТЕМАТА.

Съставянето на модел на механичната част на измервателна система е осъществено на основата на третирането на релсовата нишка като непрекъснатата греда положена на еластична основа. Тази апроксимация дава възможност, от установената сума на непрекъснатата реакция на еластичната основа, да бъде определена стойността на действащите върху релсата натоварвания на колелата на железопътните возила. При приемането на линейна връзка между провисването y на гредата и разпределената реакция с гъстота q на еластичната основа ($q = -Uy$), и зависимостта на разпределената реакция q от четвъртата производна на еластичната линия y^{IV} ($q = EJy^{IV}$), то за разглеждания случай (греда с постоянно сечение, натоварена само със съсредоточени сили) е в сила следното хомогенно линейно диференциално уравнение от четвърти ред:

$$(1) \quad y^{IV} + 4k^4 y = 0,$$

$$\text{където: } k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EJ}};$$

*По проекти на авторите са реализирани 10 системи за статични измервания и при движение с ниски скорости в системата на БДЖ.

U – коефициент на еластичната основа;

E – модул на линейна деформация за материала на релсата;

J – осов инерционен момент по отношение на централна хоризонтална ос на напречното сечение на релсата.

За изследването е избрана положителна координатна система XU , при която ос X е по оста на релсата, а началото ѝ е в точката на прилагане на силата P от колелото върху релсата. В сила са следните гранични условия, на основата на които са определени и стойностите на константите в решението на диференциалното уравнение (1):

$$x = \infty, y = 0; \quad x = 0, y' = 0; \quad x = 0, Q = -\frac{P}{2};$$

Q - тангенциално усилие.

При описаните условия, за определяне провисването на релсата $y(x)$ се получава следният израз:

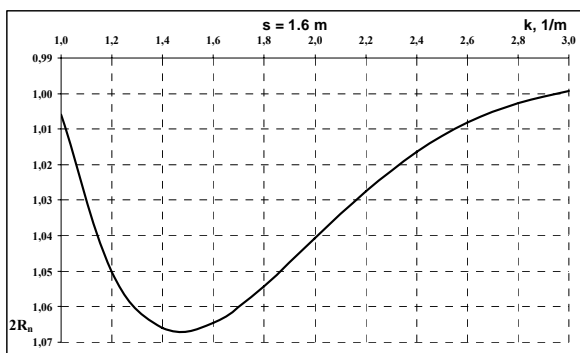
$$(2) \quad y(x) = -\frac{P}{8EJk^3} e^{-kx} (\cos kx + \sin kx),$$

За определяне нормирана стойност на реакцията $R_n(s)$ ($P=1$) на релсовото основание за участък с дължина s (s – разстояние от началото на координатната система):

$$(3) \quad R_n(s) = \frac{k}{2} \int_0^s e^{-kx} (\cos kx + \sin kx) dx.$$

Функциите $y(x)$ и $R_n(s)$ са симетрични по отношение на координатната система XU , поради което изразите (2) и (3), определени за положителното полупространство, са валидни в същия си вид и за отрицателното полупространство. В случая стойността на разстоянието s съответства на половината дължина на секционен сензор (сс) предвиден за измерване натоварването на релсата от колелото. Той е изграден от пет секции (силомери). Дължината на участъка зает от силомерите е с стойност 3,2m. Общата реакция на релсовото основание, в рамките на секционния сензор, ще се определя от удвоената стойност на $R_n(s)$.

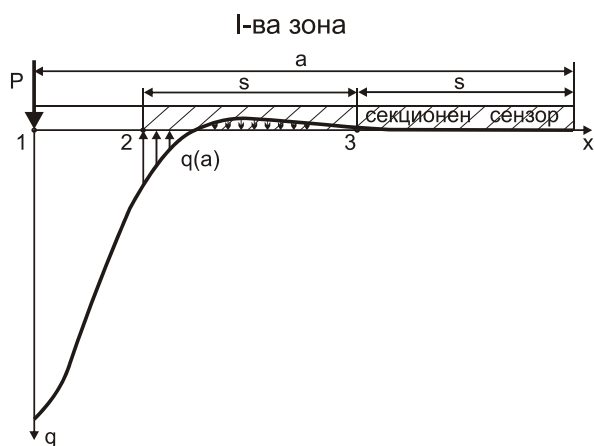
Получените стойности на $2R_n(s)$ за $s = 1,6\text{m}$, при различни коефициенти k , са дадени на фиг.1.



Фиг.1

С приближаване на колелото, което натоварва релсата със сила P към сензора, сигналът от него R_n се увеличава и добива максималната си стойност, когато колелото заеме средно положение по отношение на сензора. Стойността на сигнала R_n на сензора се определя на основата на решение на интеграла (3), определящ стойността на нормираната реакция на подрелсовото основание с дължина a - $R_n(a)$. R_n се определя от различни функции в зависимост от зоната на приложната точка на силата P определена от координата a :

I-ва зона – започва от точка извън сензора и завършва до неговото начало – от точка 1 до точка 2 (фиг.2) (от a до $a - 2s$)

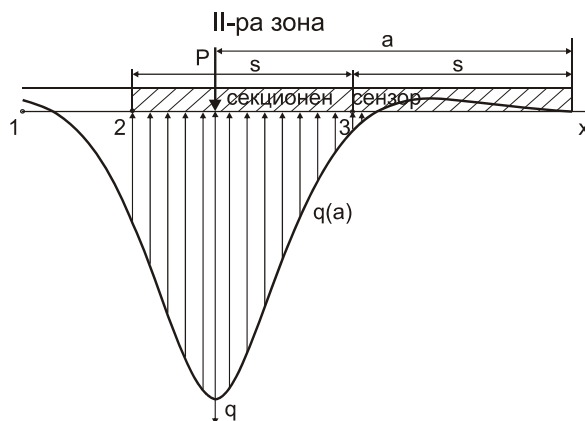


Фиг.2

и се формира сигнал R_{n1}

$$(4) R_{n1} = -\frac{1}{2} \left[e^{-ka} \cos ka - e^{-k(a-2s)} \cos k(a-2s) \right]$$

II-ра зона – започва от началото на сензора и завършва до средната му точка (фиг.3) – от точка 2 до точка 3 (от $a = 2s$ до $a = s$).



Фиг.3

Сигнал R_{n2} се състои от две компоненти R'_{n2} и R''_{n2} :

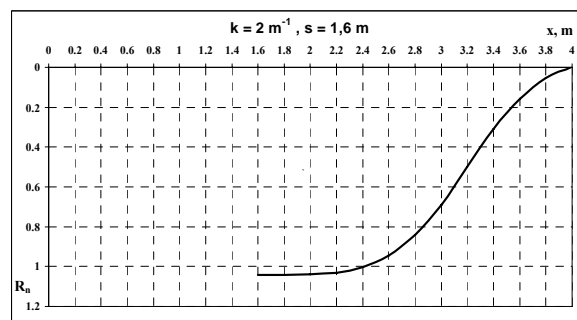
$$R'_{n2} = -\frac{1}{2} \left(e^{-ka} \cos ka \right) + \frac{1}{2},$$

$$R''_{n2} = -\frac{1}{2} \left[e^{-k(2s-a)} \cos k(2s-a) \right] + \frac{1}{2},$$

$$R_{n2} = R'_{n2} + R''_{n2},$$

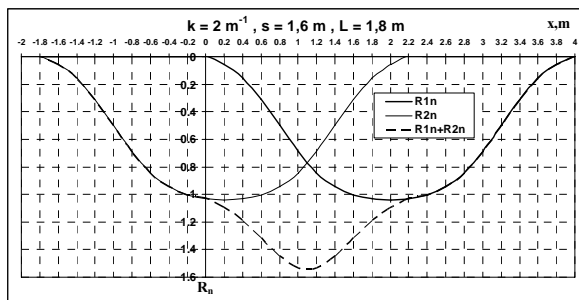
$$(5) R_{n2} = -\frac{1}{2} \left[e^{-ka} \cos ka + e^{-k(2s-a)} \cos k(2s-a) \right] + 1.$$

Определеното по формули (4) и (5) изменение на нормираната реакция на релсовото основание R_n във функция на положението на колелото по отношение на сензора a при стойност на коефициента $k = 2 \text{ m}^{-1}$ е дадено на фиг.4.



Фиг.4

При относително малко разстояние между съседни колооси (например колоосите в талиги за товарни вагони с база $L = 1,8 \text{ m}$), сензорът реагира и от натоварването на колелото от условно приетата втора колоос R_{n2} . С посоченото обстоятелство трябва да бъде съобразена конструкцията на сензора и времето през който той е активиран.



Фиг.5

Като пример на фиг.5 са дадени нормираните реакции от натоварването на колелата на 1-ва и 2-ра колооси $R1_n$ и $R2_n$, както и сумарния сигнал на сензора $R1_n + R2_n$. Изследването е извършено при следните условия: база на талигата $L = 1,8\text{m}$, коефициент $k = 2\text{m}^{-1}$, секционен сензор с дължина $3,2\text{m}$. Активирането на сензора е извършено на разстояние от $0,8\text{m}$ преди колелото на първа колоос да достигне до него. Анализът на резултатите показва силната зависимост на сигнала на сензора от натоварването на колелата от двете колооси. Посоченото неблагоприятно обстоятелство може да се избегне, ако сензорът бъде изключен след изминаване на път $B_1 = 1,8\text{m}$ от първа колоос за установяване стойността на $R1_n$ и повторното му включване след $B_2 = 2,2\text{m}$ – за определяне стойността $R2_n$. В този случай сигналът на сензора е само продукт на натоварването на колелото от първа колоос, респективно – от натоварването на колелото на втора колоос. При други стойности на разстоянията между съседните колоси L , при същите други условия, повторното активиране на сензора трябва да се извършва при изминаване на път $B_2 = (4 - L)\text{m}$.

ОБЩ ИМИТАЦИОНЕН МОДЕЛ НА СИСТЕМАТА ЗА ИЗМЕРВАНЕ – РЕЛСОВ ПЪТ, СЕКЦИОНЕН СЕНЗОР ЗА СИЛА, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА

Стойността на сигнала R_n зависи от положението, което заема колелото по отношение на сензора определено с координата a . Той не зависи практически от скоростта на движението – респективно времето, поради високите собствени честоти на металната част на сензора и

безинертността на монтираните върху него тензорезистори. Посоченото показва, че регистрираната стойност на силата P се определя от реакцията на сензора $R_n(a)$, постъпил на входа на системата, и внасяните изкривявания от електронната апаратура. Посочените изкривявания се определят от реакцията на апаратурата на единичен скок на входа посредством преходната характеристика $g(t)$. При нискочестотно филтриране

на сигнала функцията $g(t)$ се апроксимира добре от зависимостта $g(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right)$

[1], където θ е коефициент определен експериментално. За електронната апаратура, която се счита, че може да бъде използвана в случая, стойността на коефициента θ , определена експериментално от авторите, е $0,003$. При входен сигнал $R_n(a)$, представен като сума на елементарни сигнали $\dot{R}_n(\tau)d\tau$, подавани от сензора в момента τ , изменението на изходния елементарен сигнал dU_0 , се определя от равенството: $dU_0 = g(t - \tau)\dot{R}_n d\tau$. Следователно, за изходния сигнал U_0 е в сила следният израз:

$$U_0 = \int_0^t g(t - \tau)\dot{R}_n d\tau$$

или в дискретизиран вид –

$$(6) U_0(m\Delta t) = \sum_{i=1}^m \left[1 - \exp\left(-\frac{m-i}{\theta}\Delta t\right) \right] \Delta R_n(i\Delta t)$$

В зависимостта (6) са приети допълнително следните означения:

$$t = \frac{b}{V}; \quad t_i = \frac{b_i}{V}, \quad \text{където } V, \text{ m/s} - \text{ скорост на}$$

движение; $b_i, \text{ m}$ - път,

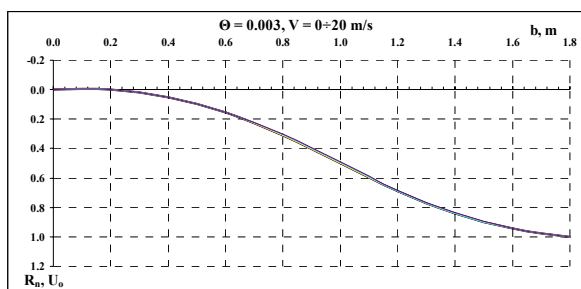
$$\Delta t = \frac{\Delta b}{V}, \quad \Delta t, \Delta b - \text{ стъпка на}$$

дискретизация по време, респективно – по път;

$$m = \frac{t}{\Delta t}; \quad i = \frac{t_i}{\Delta t};$$

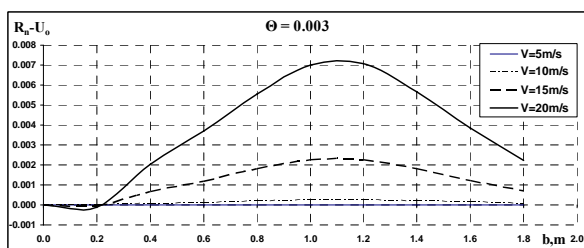
$$\Delta R_n(i\Delta t) = R_n(Vi\Delta t) - R_n[V(i-1)\Delta t]$$

На фиг.6 са дадени в графичен вид функциите R_n и U_0 при скорости на движение в интервала от 5m/s до 20m/s .



Фиг.6

Поради незначителното изкривяване на сигнала от електронната апаратура в посочения интервал на изменение на скоростта, на фигурата кривите R_n и U_0 практически се припокриват. За по-точна представа за стойността на грешката, внасяна при измерването от електронната апаратура, на фиг.6 са дадени разликите на сигналите на нейния вход и на изхода $R_n - U_0$ при скорости 5m/s, 10m/s, 15m/s и 20m/s.



Фиг.7

АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Разработеният имитационен модел на системата „непрекъсната релса, секционен сензор за сила, електронна апаратура, преобразуваща механичната величина в електрически сигнал”, дава възможност да се установи следното:

А) Сензорът за сила трябва да бъде реализиран така, че да изпълнява функцията на подрелсовото основание. Сензори при които сигналът се получава на основата на вътрешните усилия в непрекъсната релса (например тангенциално усилие) са неприемливи поради проблемната им реализация.

Б) Сензорът за сила трябва да обхваща част от подрелсовото основание с такава дължина, че да бъде натоварен със сила практически съответстваща на силата, с която колелото натоварва релсата и същевременно да липсва

върху него натоварване от страна на колело от съседна колоос.

В) Определяне стойността на модула на подрелсовото основание в рамките на сензора се извършва на основата на установените от модела зависимости между него и дължината на сензора. От стойността на модула на подрелсовото основание се определя характеристиката на гъвкавия елемент, вграден в сензора.

Г) Определянето на необходимите параметри на електронната апаратура в преходен режим се извършва с оглед допустимото изкривяване на сигнала, подаден от сензора на сила на нейния вход.

Получените резултати от разглежданата система с определени параметри (модул на подрелсото основание и параметри на електронната апаратура) показват, че тя, при нейната реализация, може да осигури достоверна информация за натоварването на колелата на железопътни возила при движение на влак с експлоатационната скорост на дадения участък.

При зададени конкретни условия за движението на влака (скорост, минимална база на талигите, допустима грешка) параметрите на системата могат да бъдат определени на основата на разработения имитационен модел.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Пономарев С. Д. И др. Разчеты на прочност в машиностроении, том 1, МАШГИЗ, М., 1956.
- [2] Buurman, G. den, A. Zoeteman, “A vital instrument in asset management”, European Railway Review, 2005, No11, pp. 80-85.
- [3] Nenov N., E. Dimitrov, G. Mihov, T. Ruzhekov, P. Piskulev, A Study on Sensors for Measuring Load of Railway Vehicle Wheels in Motion, 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, pp.558-563, May 7-11, 2008, Budapest, Hungary.

SYSTEM FOR MEASURING RAILWAY VEHICLE WHEEL LOAD IN MOTION AT OPERATION SPEED

Emil DIMITROV, Toma RUZEKOV, Nencho NENOV

*Technical University of Sofia, Higher School of Transport „T. Kableshkov”, 1574, ул. "Geo Milev" 158,
BULGARIA*

Abstract: *The paper proposed is dedicated to developing an imitation model of a system for measuring the load of railway vehicle wheels while running at operation speed. The aim is to determine the value of the force applied to the rail by the load on the basis of the under-rail fundamental reaction.*

With the help of the model as well as due to the good technical possibilities of its implementation, the metrological qualities of the system have shown that the principle assumed is expedient.

The developed imitation model can be used for determining the main parameters of the system with certain requirements to it and on this basis for designing the system.

Key words: *Railway vehicles, dynamics of railway vehicles, railway vehicle wheel load.*