

## ВЕРИФИКАЦИЯ НА РАБОТНАТА ОБЛАСТ НА НЯКОИ СПЕЦИАЛНИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИ УСТРОЙСТВА ЗА НИСКОЧЕСТОТНИ ВИБРО-ИЗМЕРВАНИЯ

**Цветан Дамянов**

*Минно-Геоложки Университет "Св.Иван Рилски", 1700 София*

**РЕЗЮМЕ:** В работата е извършено изследвания на кинематичните параметри на измерителна система, базирана на конзолен тензометричен динамометър. Създаден е двумасов механо-математичен модел на измерителна система, адаптирана към конкретна приложна задача – изследване механичните колебания на багер Rs 2000. С инструментите на програмата ITI Sim 2,2 е решена примерна задача при възбуждане на принудени трептения на роторната стрела чрез силово смущение от съпротивлението на копаене. Получените резултати прецизират областта на използване на такъв тип измерителни системи за нискочестотния диапазон (0 - 10 Hz) на вибрационно натоварване на тежките минни машини.

### WORKING ZONE VERIFICATION FOR SOME SPECIAL TENSOMETRICAL LOW – FREQUENCY VIBRATION MEASUREMENT DEVICES

**Tsvetan Damyanov<sup>1</sup>,**

*<sup>1</sup>University of Mining and Geology – Sofia, Dep. Mining Mechanization, E-mail, zld47@mgu.bg*

**ABSTRACT:** This work represents a research of the kinematical parameters of measurement system based on the console strain gage dynamometer. The system is modeled like a two point mass system and it is adapted for examination of the mechanical oscillations in excavator Rs 2000. One example of the forced oscillations is solved with the tools of the computer program ITI – SIM 2.2 using the force excitation in the rotor – wheel outrigger. The results precise the field of usage of tensometrical measurement systems for low – frequency (0 – 10 Hz) vibration phenomena examination in the heavy mining machines.

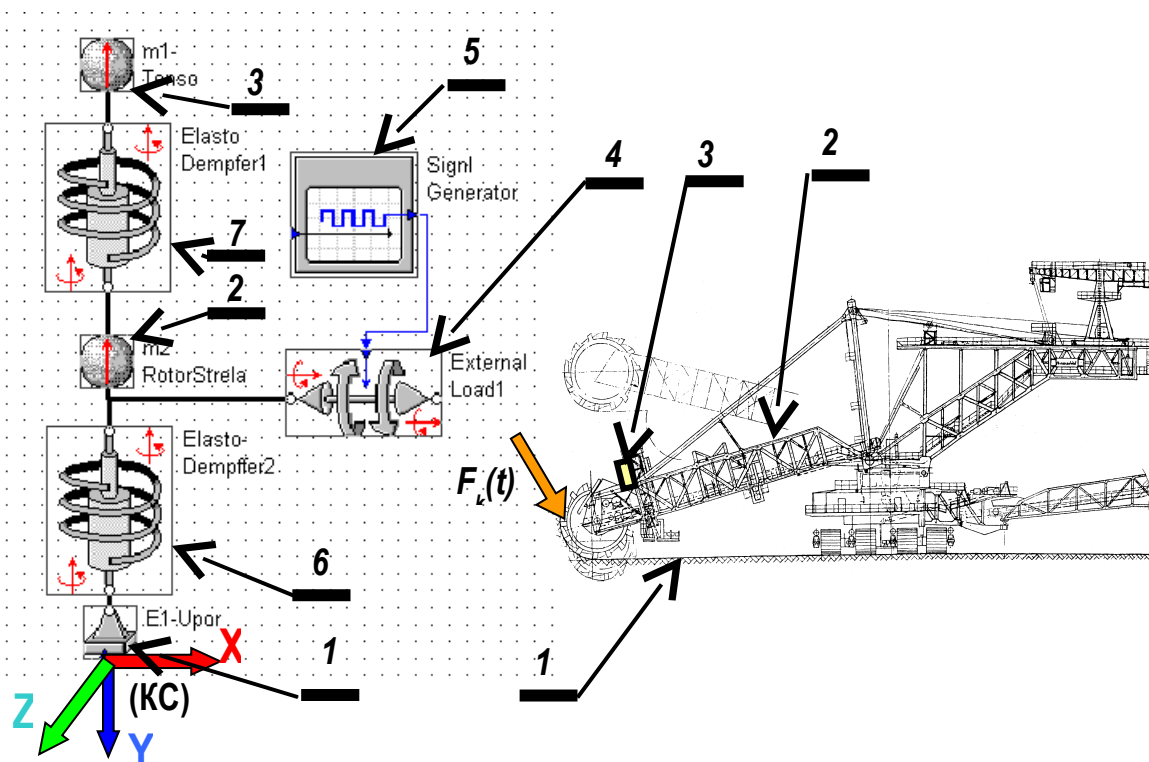
### 1. Предпоставки

Тензоизмерителните устройства се прилагат успешно в много области на техническите измервания. Преобладаващо е тяхното приложение в системите за измерване и контрол на деформации и напрежения, а много често и за усилия на опъване или натиск. Такива елементи все по широко се разпространяват и прилагат в различни измерителни устройства във вид на тензометрични модули с много високи и гарантирани качества, като точност, топлинна стабилност на параметрите, добра защита срещу механични и други въздействия и др. На такава база са осъществени успешни опити (Дамянов и др.) за измерването на механични колебания на различни тежки машини предимно от минната механизация. Това се дължи на възможността чрез такива измерителни устройства да се осъществяват измервания на механични колебателни процеси в нискочестотната област от 0 до 4-5 Хц, която не се покрива от пиезоелектронните акселерометри. В цитираната по-горе работа бяха доказани чрез теоретично и експериментално изследване възможностите за успешно приложение на тези измерителни системи в описаните случаи, предимно от минната практика. Аprobацията на резултатите беше осъществена чрез използване на различни методи, като обектите на изследване бяха както математически и компютърни модели на механичната система, така и реален физически образец на такъв измерителен елемент – конзолен тензодатчик. Общо за

всички математически и симулационни изследвания е, че механо-математическият модел беше създаден като приведен едномасов, а смущаващото външно въздействие беше прието за кинематично, Това принудено кинематично смущение е приложено към базовото звено на модела, което е свързано с релативната координатна система. Този случай е верен, но по-общ.

В изследването, което ще бъде извършено, се прецизира моделът с цел да се отрази по-добре съответствието му с конкретна машина, на която в по-късен етап, ще бъдат извършени промишлени експериментални изследвания на механичните колебания. Отнася се до динамичното натоварване на елементите от механичната конструкция на роторната стрела на багер Rs 2000, работещ в условията на Мина „Марица – изток“ ЕАД. Тази машина представлява многомасова механична система, която създават трептения, както в аварийен (недопустимо претоварване поради голямо нарастване на съпротивленията при копаене) така и в нормален работен режим. Най-често тези колебания имат голяма амплитуда и ниска честота, поради което не могат да се измерват с инструменти базирани на интегрални пиезометрични акселерометри.

На фиг.1 е показана структурно функционалната блок диаграма на механичната част от роторен многокофов багер Rs 2000 с измерителната система, моделирана с инструментите на програмата ITI Sim 2,2, която е предназначена за изследване на динамичните и кинематични параметри на механични системи със



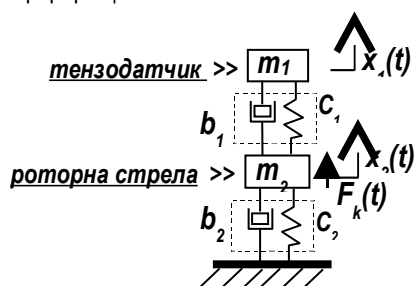
Фиг. 1

съсредоточени маси. Градивните елементи, връзките между тях и някои характерни параметри са дадени по-долу както следва:

- 1 – твърда базова опора, свързана с координатната система КС;
- 2 – роторна стрела,  $m_2 = 100\ 000$  кг.;
- 3 – точка на измерване и тензодатчик с маса  $m_1 = (0.075 - 1.39)$  кг.;
- 4 – външна сила на копаене, силово смущение,  $F_k = (0 - 200\ 000)$  Н.;
- 5 – сигнал генератор на функцията  $F_k(t)$  със случаен характер.;
- 6 – еластично – демпфиращ буфер на роторната стрела с параметри:  $C = 1400\ 000$  Н/м и  $B = 5.5$  Н.с/м.;
- 7 – еластично – демпфиращ буфер на тензодатчика с параметри:

$C = 140\ 000$  Н/м и  $B = 5.5$  Н.с/м.;

Показаната на фигурата блок-диаграма е на двумасов механо-математичен модел с една степен на свобода и линейно преместване (Фиг.2), където масите  $m_1$  и  $m_2$  са свързани в отворена кинематична верига чрез еластично-демпфиращи



Фиг. 2

възли с коефициенти на еластичност  $C$  и на демпфиране  $b$ . (Иванов)

Принудената смущаваща сила е приложена към възела  $m_2$  – роторната стрела. Принудените колебания на системата, възникващи под действие на смущаващата сила  $F_k(t)$  могат да се опишат чрез диференциалните уравнения в матрична форма както следва:

$$(1) \quad M \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + C \cdot x = F_k(t)$$

където

(2)  $x = [x_1(t) \ x_2(t)]^T$  е вектора на обобщените координати

(3)  $M$ ,  $B$  и  $C$  са матриците на масите, демпфирането и коравината;

$F_k(t)$  е вектора на смущаващата сила на

съпротивленията при копаене.

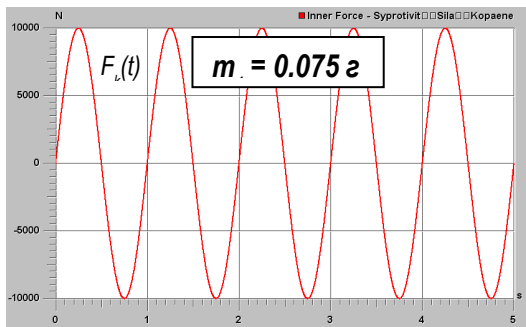
Численото решение ще бъде получен с инструментите на програмата ITI Sim 2,2, която позволява да бъдат представени и сравнени функциите на амплитудата, скоростите и ускоренията -  $s(t)$ ,  $v(t)$  и  $a(t)$  в общ графичен прозорец.

Дефинираната по такъв начин задача ще бъде решена за няколко характерни случая.

## 2. Хармонична смущаваща сила

За да се изследва влиянието на честотата на периодичните колебания върху функциите на кинематичните параметри на масовите възли от системата, в тази част от

работата ще бъде генерирана смущаваща синусоидална периодична сила на копаене, на която може да се променя честотата на колебанията в диапазона от 0 до 10 Хц След активирането и като принудена смущаваща сила приложена към роторната стрела, ще бъдат измерени стойностите на най-големите отклонения  $\Delta_a$  между амплитудите на ускорението на роторната стрела в точката на измерване –  $a_2(t)$  и тази на тензоизмерителния елемент –  $a_1(t)$  за различни по големина инерционни маси ( $m_1$ ) на същия елемент.

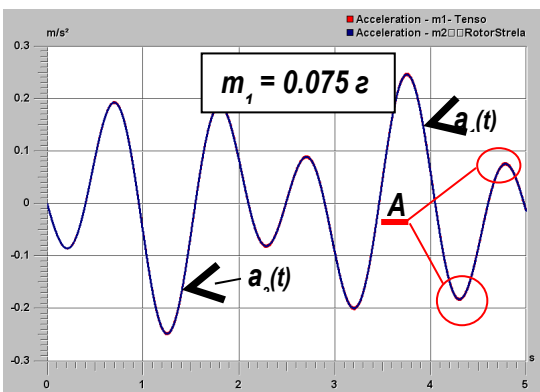


Фиг. 3

. Анализът на резултатите ще бъде направен на базата на функцията  $\Delta_a = (m_1, f)$ , която е функция от две независими променливи .

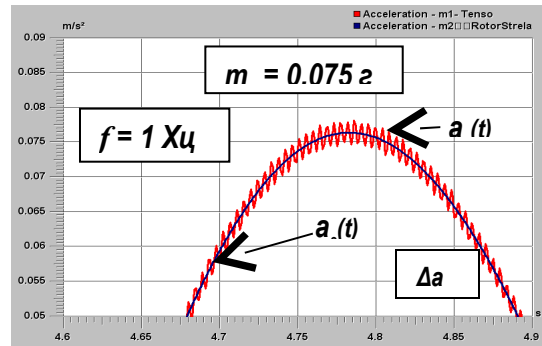
$M_1, kg$	0,075	0,690	1,390
	$\Delta_a, m/s^2$		
1	0,6	3	1,5
2	0,6	2	3,2
3	0,7	4	4
4	0,7	6	6
5	0,8	5,8	10
6	0,8	5,9	11
7	0,9	6	13
8	0,9	6,5	16
9	1	7	13
10	1,1	8,5	12

На фиг. 3 е представена графично силата на копаене  $F_k(t)$  за период от 5 с. при маса на тензоелемента  $m_1 = 0.075$  г. , а на фиг.4 в общ графичен прозорец функциите на ускорението на точката на измерване върху роторната стрела -  $a_2(t)$



Фиг. 4

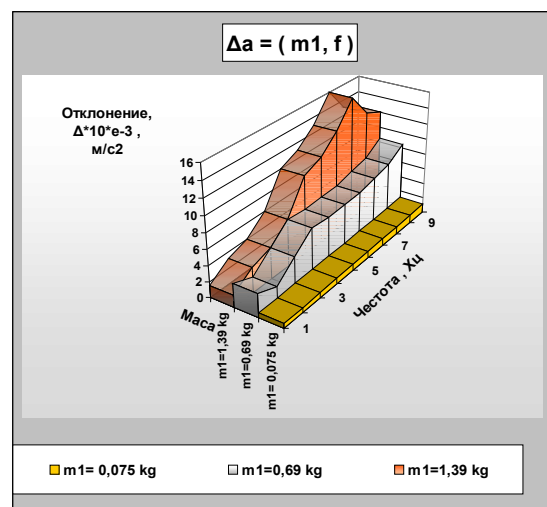
и това на тензоизмерителния елемент -  $a_1(t)$  . Вижда се , че двете графични линии съвпадат напълно, а след увеличение със лупа в областите **A** могат да станат видими съвсем малките различия ( не повече от  $\pm 0.0015$   $m/c^2$  ) между функциите на измерителния елемент и на ускорението в точката на измерване от роторната стрела. (виж Фиг.5) .



Фиг. 5

В таблица 1 са обобщени и систематизирани резултатите от измерването на максималните стойности на отклонението  $\Delta_a = |a_1(t) - a_2(t)|$ , които се получават в екстремумите на функцията на ускорението на роторната стрела. Както беше уточнено по-горе, масата е варирана с три стойности, а честотата на трептенията през 1 Хц от 1 до 10 Хц. По-високи стойности за  $f$  от 10 Хц не са приемливи, тъй като е установено (Дамянов и др.) , че предавателната функция от диаграмата на Боде изчерпва линейното си поведение до честота около 12 Хц. Ясно изразено е малкото отклонение  $\Delta_a$  което измерителният тензоелемент има при измерване на ускорение с най-малката собствена инерционна маса – 0.075 г. Това означава, че измерителната система ще работи най-точно в тази конфигурация, и тя трябва да се предпочита винаги когато чувствителността на тензопреобразувателя позволява.

Таблица 1



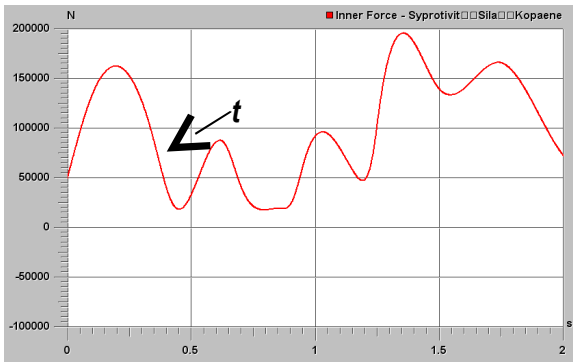
Фиг.6

Направените изводи са визуализирани по-ясно на фиг.6, където изследваната функция е представена графично в тримерна координатна система.

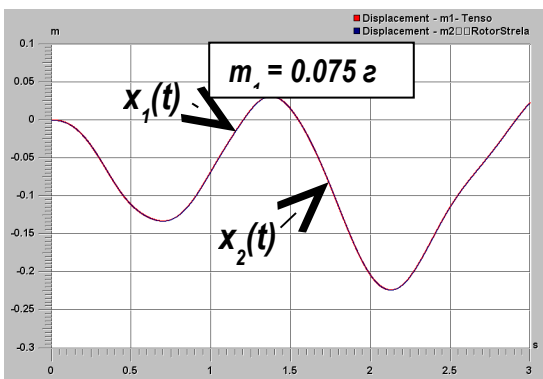
### 3. Ударно променяща се сила на принудените смущения

Тази част от изследването представлява симулация на ударно нарастване на силата на копаене, което може да възникне при работа на багера в среда с твърди включения. Такъв режим се характеризира с много бързо (мигновено) нарастване на силата  $F_k(t)$  и има случаен характер на възникване, като претоварването на цялата механична система много често надхвърля допустимите якостни норми. В това изследване ударното претоварване ще бъде симулирано като еднократен пик в началото на процеса чрез мигновено нарастване на стойността на силата  $F_k(t)$  от 0 до 50 000 Н. Самата функция е получена чрез генериране на случайни стойности за  $F_k(t)$  в диапазона до 200000 Н, след което е приложена сплайн апроксимирани.

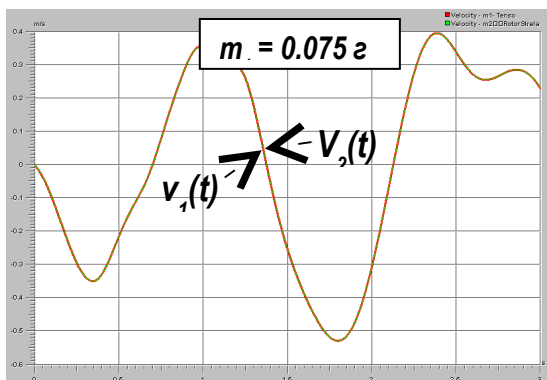
На Фиг.7 е изобразена тази функция, която по амплитуда и честота на колебанията отразява правдоподобно натоварването на механичната система в действителни работни условия.



Фиг. 7

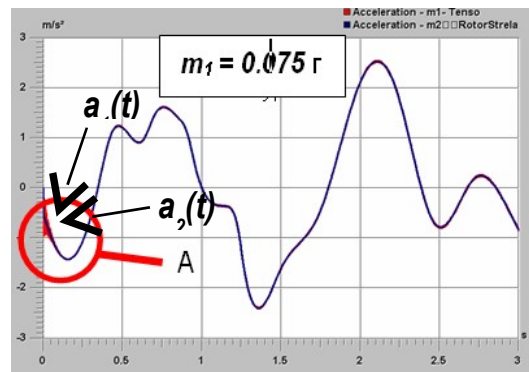


Фиг. 8

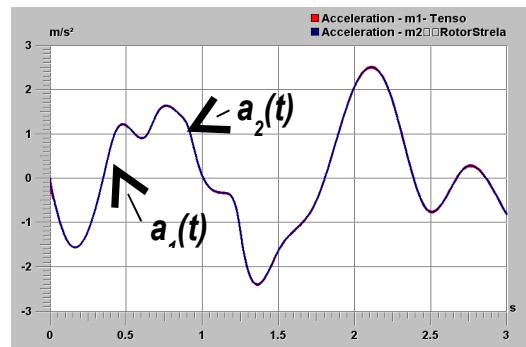


Фиг. 9

На фиг.8 са показани функциите на линейно преместване на точката на измерване от роторната стрела и това на масовия център на тензоелемента, на фиг.9 – функциите на скоростите, а на фиг.10 – функциите на ускоренията за същите точки. Може да се установи, че при тези условия за преместванията и скоростите съответствието на функциите за двете точки е абсолютно задоволително, а за ускоренията има значително отклонение в областта А – (виж фиг.10). На фиг.11

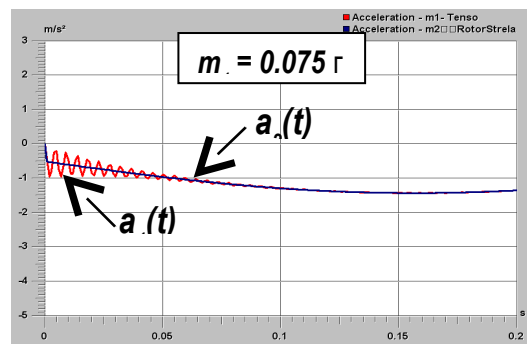


Фиг. 10



Фиг.11

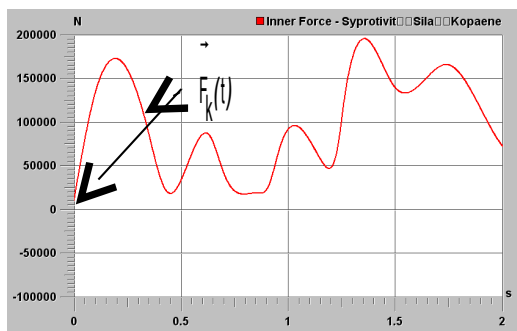
се виждат добре след увеличение с лупа затихващите хармонични колебания на ускорението, което придобива инерционната маса на тензоизмерителния елемент. Тази особеност се дължи на мигновното скокообразно нарастване на ускоренията от 0 до 0,55 м/с<sup>2</sup>, но тъй като функцията  $a_1(t)$  има симетричен характер спрямо тази от принудените колебания  $a_2(t)$ , тя може да се филтрира.



Фиг. 12

Когато принуденото силово смущение няма силно изразен ударен характер на проявление, както е на фиг. 12, тогава не съществуват условия за възникване на описаните по-горе колебателни процеси в измерителната система (виж фиг.13).

В този случай силата на копаене нараства плавно от нулеви стойности в началото на симулацията, което е предпоставка за такъв характер на изменение и на функциите на ускоренията  $a_1(t)$  и  $a_2(t)$



Фиг.13

## Заклучение

Препоръчана за публикуване  
от катедра "Механизация на мините", МЕМФ

Резултатите от научното изследване потвърждават приложимостта на измерителната система, базирана на конзолен тензометричен елемент за измерване на параметрите на колебателни процеси в нискочестотната област от 0 до 5 Хц. С направената компютърна верификация чрез симулационно изследване на двумасов механо математичен модел на механична система за конкретна машина са потвърдени резултатите от предходни изследвания. С инструментите на специализираната програмата ITI Sim 2.2 е потвърдена приемлива за такива измервания точност, което позволява на тази база да се конфигурират измерителни системи за измерване на ускорение в нискочестотната област от 0 до 5 Хц, Тъй като такива устройства не се предлагат от специализираните в тази област фирми производители, може да се отбележи, че работата притежава силно изразен приложен характер.

## Литература

- Дамянов Цв.Д., "Специални приложения на тензометрията за нискочестотна вибродиагностика в областта на минната техника", Годишник на МГУ, София, 2007г  
Иванов А., Моделиране на динамични задачи с Матлаб, Издателство „Арте Ново“, София 2001  
Костов. Ж, Електрически измервания , И. Техника, София, 1977 г.