

---

## **ПРЕНОСИМА СИСТЕМА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИ ПРИ ВИБРОУПЛЪТНЯВАНЕ С ТРАВЕРСОПОДБИВНИ МАШИНИ**

**Борис Петков, Емил Йончев**

[borpet@vtu.bg](mailto:borpet@vtu.bg); [iontcvev@vtu.bg](mailto:iontcvev@vtu.bg)

**ВТУ “Тодор Каблешков”  
София 1574, ул. „Гео Милев” №158,  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** *виброуплътняване, подбиване, подбивен агрегат, баластова призма, траверсоподбивни машини*

**Резюме:** *Степента на уплътняване на насипните материали е основен показател за качеството на изработката на уплътнителните, трамбовъчните и подбивните машини. Изследването на зависимостта на степенята на уплътняване от динамичното въздействие ще допринесе за оптимизиране на режимите на виброуплътняване. В съществуващата теория и практика при избор на оптимални параметри на виброуплътняване се взимат под внимание само емперични зависимости и кинематични параметри.*

*Необходимо е експериментално изследване, което да потвърди резултатите от теоретичната разработка, вследствие на което ще има възможност да се провеждат многовариантни симулации от гледна точка на различна работна среда и параметри на виброуплътняване.*

*За нуждите на експерименталното изследване е необходимо на базата на динамичен модел на комплекса: уплътнителна система - дисперсна система (подбивен агрегат на траверсоподбивна машина и баластова призма) да се разработи преносима система, чрез която да се определят параметри на виброуплътняването на насипни материали.*

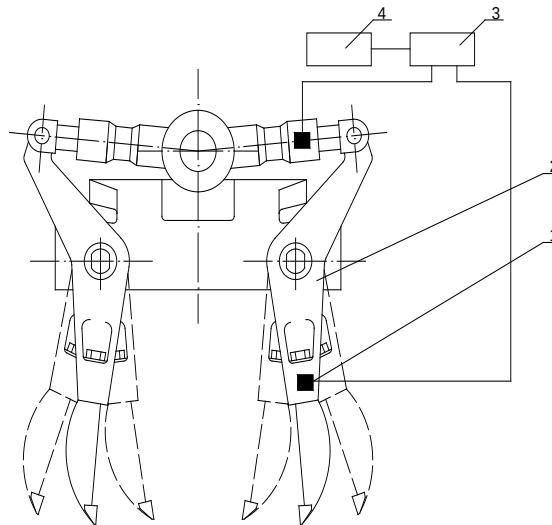
### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

В строителните и железопътно-строителните процеси голямо приложение намира виброуплътняването на насипни материали. Това е динамично въздействие, което чрез редица параметри – честота, амплитуда, натиск, скорост на придвижване на уплътнителното съоръжение, от една страна и зърнометричен състав, влажност, форма на частиците от друга, създава определена степен на плътност на насипния материал. Интерес представлява намиране на оптимално съчетание на тези параметри с цел бързо и ефективно да се достига до нужната степен на плътност за съответния насипен материал. В теорията на виброуплътняването съществуват някои методи предлагащи оптимизиране на параметрите на уплътняване, касаещи предимно

точно определени процеси, като подбиване на траверсите, динамично стабилизиране и др. Широко се използват емпирични зависимости, получени в резултат от доказани в практиката решения на това оптимизиране.

Изследването на зависимостта на степента на уплътняване от динамичното въздействие ще допринесе за оптимизиране на режимите на виброуплътняване и възможност да се провеждат многовариантни симулации от гледна точка на различна работна среда и параметри на виброуплътняване.

Чрез преносимата система могат да се снимат данни за динамичните процеси на подбивните агрегати в работни условия (фиг.1) и да се извършват измервания със стенд (фиг.2) за определяне на пневматичната проводимост на дисперсни системи [1].



Фиг. 1

1- акселерометър; 2- подбивен агрегат; 3- система за събиране на данни; 4- преносим компютър

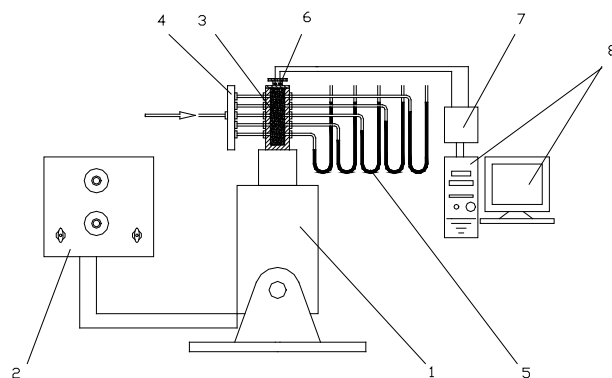
Стендът дава възможности за:

задаване на широка гама от честоти и амплитуди, чрез които се получава определена степен на уплътняване;

количествено измерване на текущите стойности на честотата и амплитудата;

промяна на зърнометричния състав на насипния материал, някои негови физико-механични характеристики като влажност, форма на частиците и др.;

- качествено определяне на степента на уплътнение в насипния материал, по височина на епруветката, посредством метода на пневматична проводимост на дисперсни системи, като се отчита пада на налягане във всеки един слой на изпитвания материал.



**Фиг.2**

1- електромагнитен вибратор, 2- блок за управление, 3- епруветка с насипен материал, 4- разпределител на въздух с високо налягане, 5- течностни манометри, 6- измерваща апаратура /преобразуватели/, 7- аналогов цифров преобразувател, 8- компютър

## **2. ЦЕЛ**

Целта е да се подберат елементи и да се състави преносима система за експериментално определяне на параметри при виброуплътняване, чрез която на базата на динамичен модел на комплекса: уплътнителна система- дисперсна система да може да се проведе експериментално изследване, в работни и лабораторни условия, за потвърждаване на теоретичните резултати, получени при разработване на дисертационна тема.

## **3. ЗАДАЧИ**

1. Да се определят параметрите на измервателната апаратура, чрез използване на динамичния модел;
2. Да се разработи методика за провеждане на експеримент, в лабораторни условия, с цел да се настрои и регулира преносимата система /да се установи необходимостта от филтриране на смущения и шумове в сигналите, да се адаптира програмния продукт и др./ ;
3. Да се проведе експеримент в лабораторни условия;
4. Да се обработят и анализират резултатите от проведения експеримент.

## **4. ТЕОРЕТИЧНИ ПРЕДПОСТАВКИ /ОПРОСТЕН ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ/**

Взаимодействието на работното съоръжение с насипния материал при виброуплътняване може да се проследи при разглеждане на праволинейното движение на работната площадка, при положение че направлението на колебанията съвпада с направлението на скоростта на подаване на инструмента и тази скорост е постоянна. В действителност тези условия не се изпълняват в процеса на уплътняване, но изменението им е сравнително малко, особено ако се разглеждат малък брой цикли на колебание [2].

Уравнението на движение на работната площадка в този случай се определя като се съставя модел на механична система (фиг.3), подложена на принудени трептения в среда с нееластично съпротивление [3]. За целите на настоящия проект /определяне на

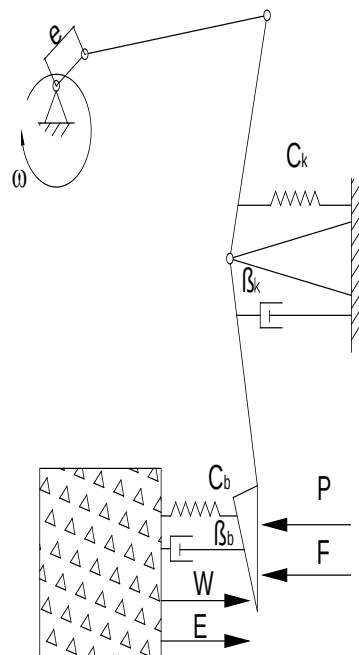
параметрите на измервателната апаратура/ е достатъчно механичната система да се представи като едномасова с една степен на свобода.

От уравнението на Нютон:

$$m\ddot{x} = \sum X_i$$

имаме

$$M \ddot{x} = -E - W + F + P,$$



Фиг. 3

където:

$M$  - приведената маса на системата;

$E$  – възстановяваща сила:  $E = (c_k + c_b)x$ ;

$W$ - съпротивителна сила :  $W = (\beta_k + \beta_b)\dot{x}$ ;

$F$ - статична сила на притискане, предизвикваща преместване  $s$ ;

$P$ - периодична, смущаваща сила:  $P = P_0 \sin \omega t$ ;

$c_k$  и  $c_b$  са коефициенти на еластичност съответно на конструкцията на агрегата и на баласта;

$\beta_k$  и  $\beta_b$  са коефициенти на линейното съпротивление съответно на конструкцията на агрегата и на баласта;

$P_0$  – максимална стойност на смущаващата сила:  $P_0 = m_p \omega^2 e$ ;

$\omega$  - кръгова честота /ъгловата скорост на ексцентриковия вал/;

$m_p$  – масата на въртящите се части;

$e$  – ексцентрицитет на ексцентриковия вал,

така:

$$M \ddot{x} + (\beta_k + \beta_b) \dot{x} + (c_k + c_b)x = F + P_0 \sin(\omega t)$$

Като се вземат предвид следните субституции:

$$(1) \quad 2n = \frac{\beta_k + \beta_b}{M}; \quad k^2 = \frac{c_k + c_b}{M}; \quad f = \frac{F}{M}; \quad h = \frac{P_0}{M}$$

диференциалното уравнение на движението на работната площадка може да се напише в следния вид:

$$(2) \quad \ddot{x} + 2n \dot{x} + k^2 x = f + h \sin(\omega t)$$

При работа на уплътнителният инструмент в среда на баластов материал са известни [4] следните коефициенти на еластичност и линейно съпротивление:  $c_k = 2,4 \cdot 10^6 \text{ N/m}$  и  $c_b = (15 \div 25) \cdot 10^6 \text{ N/m}$ ;  $\beta_k = (4 \div 6) \cdot 10^3 \text{ Ns/m}$  и  $\beta_b = (45 \div 75) \cdot 10^3 \text{ Ns/m}$ . Като се извършат съответните изчисления с горните стойности в първите две субституции (1) се получава:

$$k < n,$$

така уравнението на установеното движението на работната площадка, след достигане на стационарния процес, може да се представи като частно решение на (2):

$$x = A \sin(\omega t - \varphi) + s,$$

където:

$A$  – амплитуда на вибропреместването:

$$A = \frac{P_0}{\sqrt{(c_k + c_b - M \omega^2)^2 + (\beta_k + \beta_b)^2 \omega^2}};$$

$\varphi$  – ъгъл на фазово изместване между смущаващата сила и колебателното преместване на работната площадка: ;

$$\varphi = \arctg \frac{2n\omega}{k^2 - \omega^2}$$

$s$  – преместване на работната площадка под действието на статичната сила:

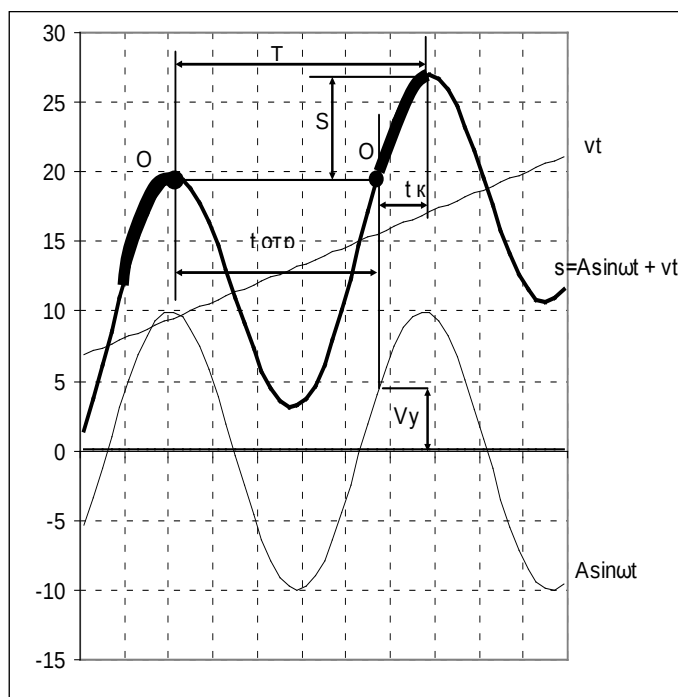
$$s = v \cdot t;$$

$v$  – скоростта на придвижване на работната площадка

или:

$$(3) \quad x = A \sin(\omega t - \varphi) + v \cdot t$$

На фиг.4 е показана графиката на движение на работната площадка на инструмента, при условие, че  $\varphi = 0$ . [1] С тънки линии са изобразени колебателното и равномерното движение. С дебела линия е резултантното движение на инструмента.



Фиг. 4

## 5. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНАТА АПАРАТУРА /ИА/

### 5.1. ИА за динамичните процеси на подбивните агрегати в работни условия

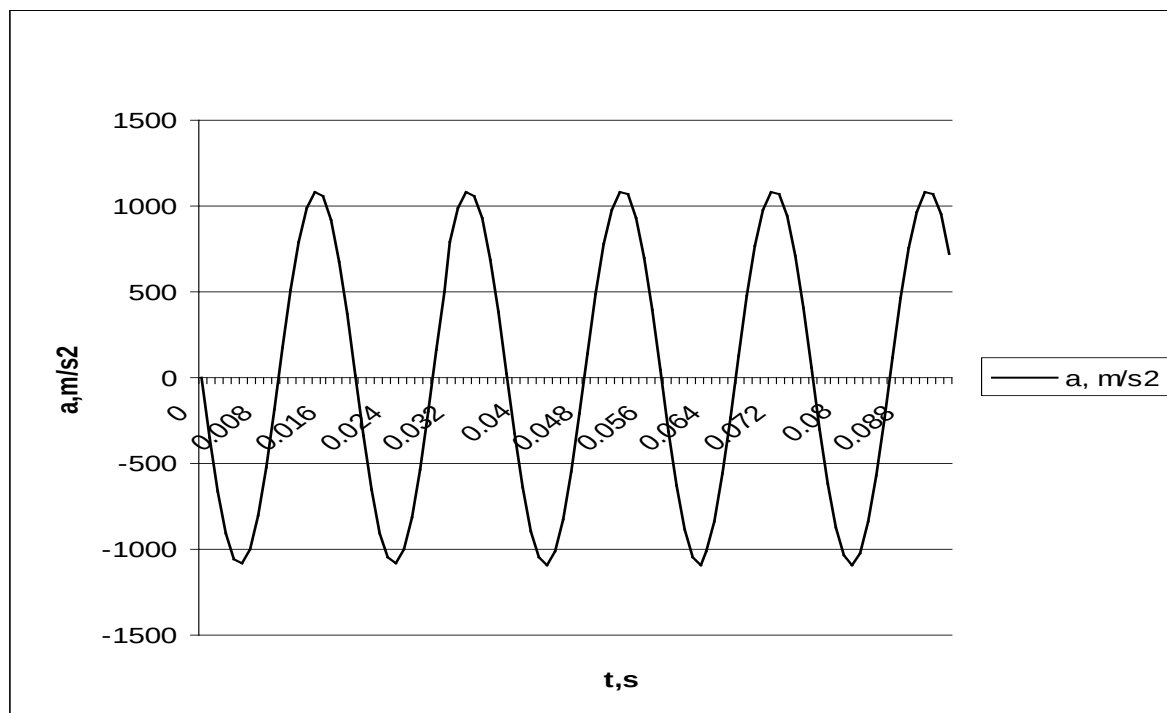
За целите на проекта е необходима такава измервателна апаратура, която да осигури данни за виброускоренията на движещите се части, в необходимия амплитуден и честотен диапазон.

От закона за движение (3) на работната площадка, чрез двукратно диференциране се определя закона  $a=a(t)$  за изменение на виброускорението:

$$(4) \quad a = -A\omega^2 \sin(\omega t)$$

Стойностите на амплитудата  $A$  и честотата  $\omega$  на въртене на ексцентриковия вал при различните траверсоподбивни машини варират както следва:  $A = (6 \div 10) \text{ mm}$  и  $\omega = (220 \div 330) \text{ s}^{-1}$ .

Представянето на уравнение (4) в графичен вид, пресметнато за високите стойности на амплитудата и честотата на въртене е показано на фиг.5



Фиг. 5

Графиката  $a$  на виброускорението показва, че максималната му стойност превишава, но е сравнително близка, до  $1000 \text{ m/s}^2$ . Тази стойност, отнесена до земното ускорение  $g$ , може да се запише като:

$$(5) \quad a_{\max} \approx 100 g,$$

Като се вземат предвид стойностите на честотата на въртене  $\omega$  на ексцентриковия вал, за честотата  $f$  на изменение на виброускорението се получава:

$$(6) \quad f = (35 \div 54) \text{ Hz}$$

Стойностите на амплитудата  $a_{\max}$  и честотата  $f$ , представени съответно, чрез изразите (5) и (6) определят амплитудния и честотния диапазон на виброускоренията, възникващи при работа на подбивния агрегат. Това са стойностите на основните параметри, по които могат да се избират елементите на измервателната апаратура.

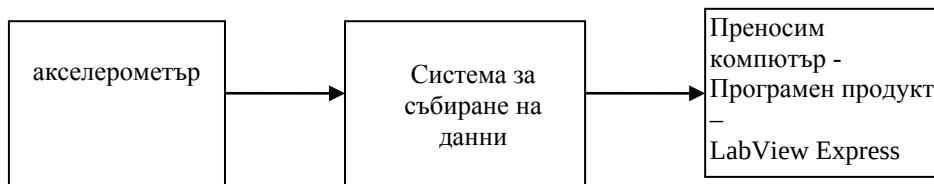
## 5.2. ИА за стенд за определяне на пневматичната проводимост на дисперсни системи

Стендът е снабден с електромагнитен вибатор с известни параметри на амплитудния и честотния диапазон. Така за избор на измервателна апаратура се приемат максималните стойности, които могат да се реализират с вибратора:

$$a_{\max} \approx 10 g, \quad f_{\max} = 100 \text{ Hz}$$

## 6. ИЗБОР НА ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗМЕРВАТЕЛНАТА АПАРАТУРА

Преносимата система (фиг. 6) се състои от аналогови акселерометри, система за събиране и преобразуване на данни NI USB 6008, програмен продукт и преносим компютър.



Фиг. 6

След проучване на възможностите за осигуряване на елементи с необходимите технически характеристики описани в точка 5, за измервателната система, бе направен избор на:

1. **Акселерометър** от производителя ANALOG DEVICES, тип ADXL00-250 със следните основни технически данни:

- Обхват на измерваното ускорение  $\pm 250 \text{ g}$  ;
- Честотна лента  $0 \div 22 \text{ kHz}$  ;
- Относителна статична грешка 0,2% ;
- Захранващо напрежение  $3,3 \div 5 \text{ V}$  .

2. **Акселерометър** от производителя ANALOG DEVICES, тип ADXL 345Z- M със следните основни технически данни:

- Обхват на измерваното ускорение  $\pm 16 \text{ g}$  ;
- Захранващо напрежение  $2 \div 3,6 \text{ V}$  .

3.**Система за събиране на данни** от производителя NATIONAL INSTRUMENTS, тип NI USB 6008 със следните по-важни технически характеристики:

- аналогивите входове – 8;
- цифрови входни/изходни канали - 12;
- аналогови изходи 2;
- захранване 5 V;
- 32 bit брояч;
- USB интерфейс

4.**Програмен продукт** - LabView Signal Express от NATIONAL INSTRUMENTS.

## 7. МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТ В ЛАБОРАТОРНИ УСЛОВИЯ

### 7.1 Място на провеждане:

Лаборатория по “Железопътни строителни машини”, към катедра ПТСМС на ВТУ “Т. Каблешков”.

### 7.2 Изследван обект:

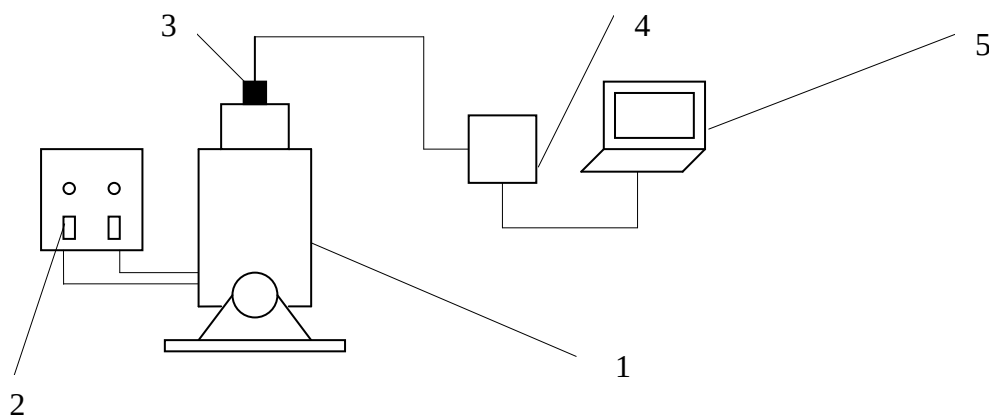
- Акселерометри тип: ADXL001-250 и ADXL 345Z-M;
- АЦП тип: NI USB 6008;
- Програмен продукт: LabView Signal Express.

### 7.3 Цел на изследването:

Да се установят: правилното функциониране на елементите на преносимата система; адаптиране на програмния продукт към целите за използване на преносимата система.

### 7.4 Опитна постановка: фиг. 7





**Фиг. 7**

1- електромагнитен вибратор, 2- блок за управление, 3- изследван акселерометър, 4- NI USB 6008, 5- преносим компютър с програмен продукт LabView Express

### **7.5. Тарирание на системата:**

Да се определи тарировъчния коефициент (mV/g), според големината на захранващото напрежение, за всеки един от елементите на системата.

### **7.6 Провеждане на изследването:**

Към електромагнитния вибратор 1 се закрепва изследвания акселерометър. Чрез блока за управление 2 се задава амплитуда и честота на вибриране. Данни, преобразувани от системата за събиране на данни 4, за виброускорението при определена честота на дискретизация и честотния спектър се записват на компютъра 5 и се обработват с програмния продукт.

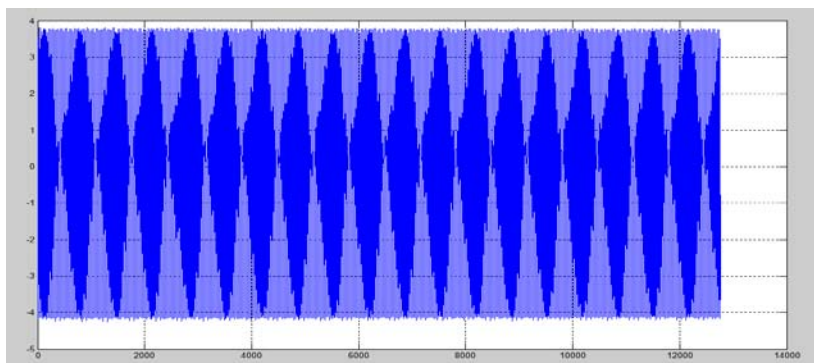
### **7.7 Резултати от изследването:**

Резултатите се представят в графичен вид, като зависимости на ускорението и честотата на дискретизация.

## **8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ**

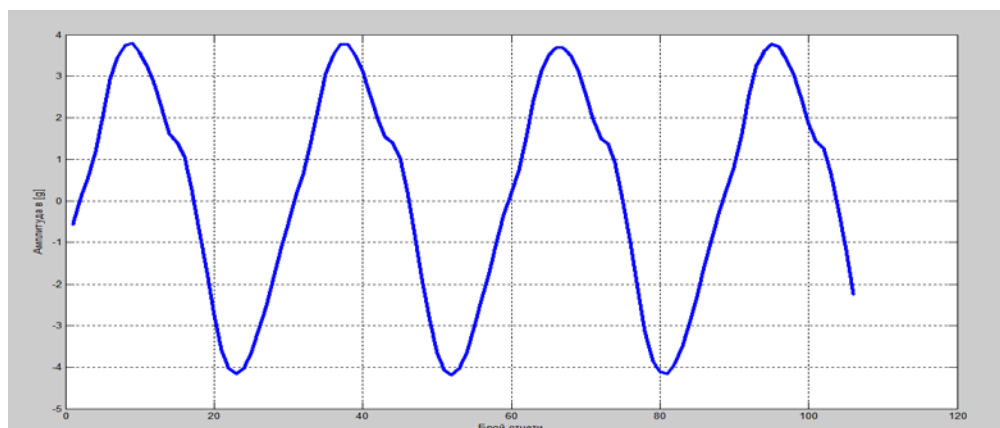
Съгласно представената в т. 7 методика бяха изследвани елементите на преносимата система и получени следните резултати:

1. Виброускорение (по ординатата, кратно на g) записано при честота на дискретизация 160 Hz от акселерометър ADXL001-250 (фиг.8), брой на отчети (по абсцисата):



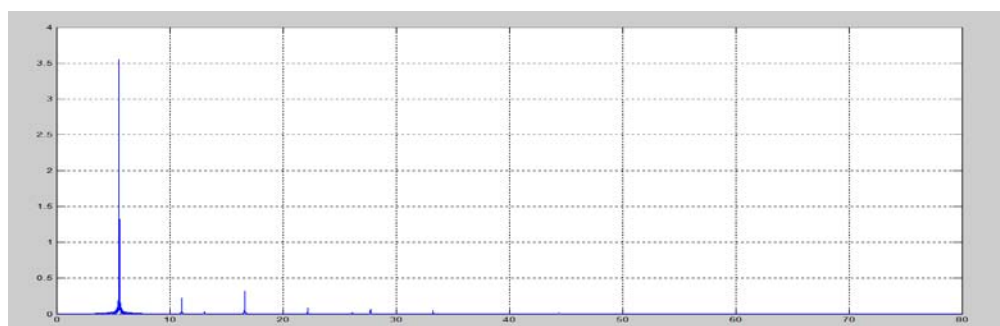
**Фиг. 8**

На фиг.9 е показан запис на данните за виброускорението от същия акселерометър, включващ три периода.



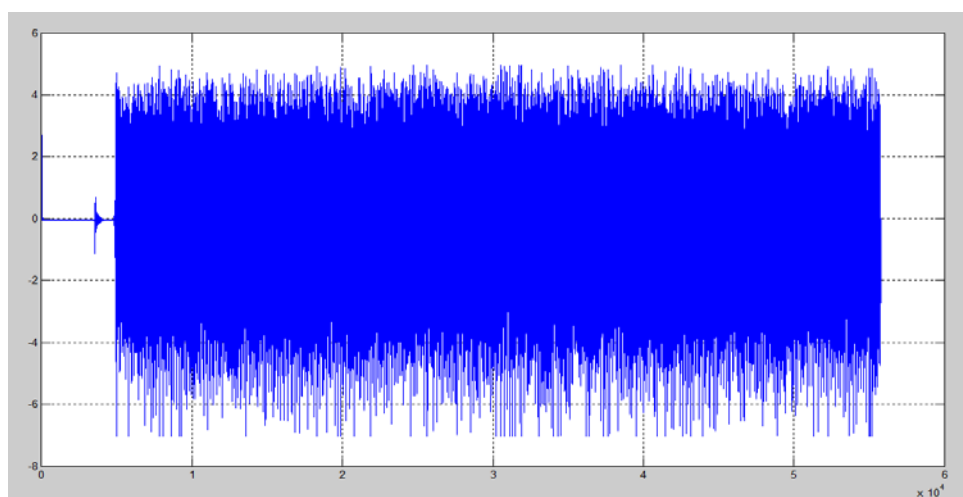
Фиг. 9

2. Честотен спектър записан от акселерометър ADXL001-250 (фиг.10). По абцисата е честота в Hz, а по ординатата спектралната мощност на сигнала  $\frac{g^2}{Hz}$ .



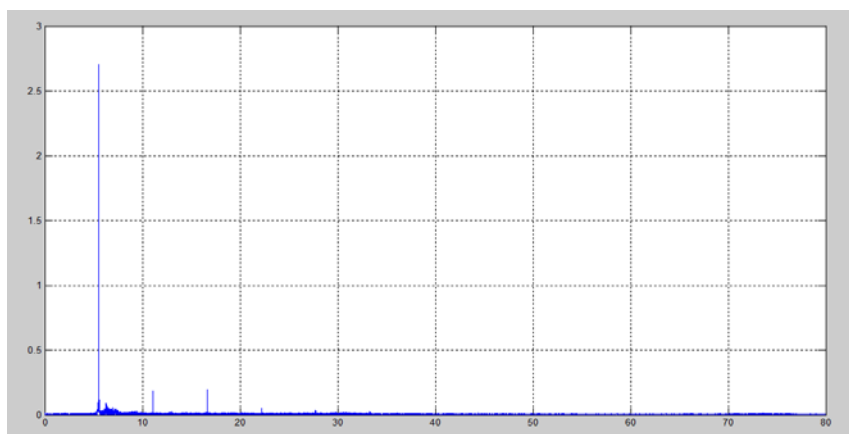
Фиг. 10

3. Виброускорение (по ординатата, кратно на g) записано при честота на дискретизации 160 Hz от акселерометър ADXL345Z-M (фиг.11), брой но отчети (по абцисата):



Фиг. 11

4. Честотен спектър записан от от акселерометър ADXL345Z-M (фиг.12).



Фиг. 12

## 9. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ. ИЗВОДИ

След анализ на получените резултати от изпитване на елементите на преносимата система, с цел да се установи правилното им функциониране и да се адаптира програмния продукт, могат да се направят следните изводи:

Акселерометрите са тарирани и предоставят данни, адекватни на протичащите процеси.

Аналогово- цифровия преобразувател е адаптиран към системата.

Програмният продукт дава възможности за регистриране и обработване на събраните данни.

Преносимата система може да се използва в работни и лабораторни условия за изследване на виброуплътняването в зависимост от динамичното въздействие.

***Описаният по- горе проект е финансиран по договор № 1490/29.04.2011 г. на ВТУ „Т.Каблешков”***

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1.] Петков Б., Йончев Е. – “Стенд за определяне на пневматичната проводимост на дисперсни системи” – Научна конференция ТРАНСПОРТ 2004, ВТУ „Т.Каблешков”, 2004 г.
- [2.] Соломонов, С.А. – „Путевые Машины” – Москва, „Транспорт”, 1985 г.
- [3.] Писарев А., Парасков Ц., Бъчваров С. - Курс по Теоретична механика – II част, Техника, София, 1975 г.
- [4.] Сырещиков, Ю.П. – „Новые путевые машины”- Москва, „Транспорт”, 1984 г.