

# ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ФОРМАТА НА СВОБОДНАТА ЧЕЛНА ПОВЪРХНИНА ВЪЗПРИЕМАЩА УДАРА ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА УДАРНИЯ ИМПУЛС ПРИ УДАР НА ТВЪРДО ТЯЛО С ГУМЕН БУФЕР

## INVESTIGATING THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE FREE FRONT FACE RECEIVING THE IMPACT UPON THE PARAMETERS OF THE IMPACT PULSE RESULTING FROM A RIGID BODY IMPACT WITH RUBBER BUFFER

Доц. д-р инж. Митев Н. – Технически университет - Габрово, България

E-mail: mitev\_n@tugab.bg

**Abstract:** *Experimental investigation have been carried out concerning a set of geometrically similar rubber buffers of different radii of the spherical front face receiving the impact. The influence of the radius value upon the general parameters of the impact pulse has been established for impact between the buffer and a rigid body with regard to various levels of power load upon a unit of volume. Relevant conclusions have been drawn.*

**Keywords:** *IMPACT, VISCOELASTIC IMPACT, RUBBER BUFFER, VISCOELASTIC BUFFER.*

### 1. Увод

Вискоеластичните буфери са елементи на безопасността широко използвани в подемно-транспортното машиностроене за защита на металните конструкции на подемно-транспортните машини от високи стойности на ударната сила. Тяхното основно експлоатационно натоварване е на удар, а основната им функция е да трансформират ударния импулс, като ограничат ударната сила до безопасни нива. Освен тази основна функция те следва да разсейват възможно най-голямо количество от енергията на удара, отдавайки я във вид на топлина.

Вискоеластичните буфери се изработват от полимерни материали с достатъчно висока механична якост, притежаващи добри дисипативни свойства. Формата и размерите им се определят въз основа на прогнозните стойности на ударната сила при възникване на аварийна ситуация, вида и свойствата на използвания за изработката им материал и от ограничения, свързани с абсолютните им размери. Конструктивно те най-често са оформени като прави тела с цилиндрична или призматична форма, което е свързано с начинът им на функциониране (възникващата при удара надлъжна еластична вълна многократно изминава пътя между двете плоски челни повърхнини за времето на удара, увеличавайки значително дяла на разсейваната енергия), но не са рядкост и случаите при които челната повърхнина не е равнинна.

Друга особеност свързана с използването им е, че липсва общоприета методика за подбора и пресмятането на буферите.

Съществуват известен брой публикации посветени на проблемите свързани с удара на твърдо тяло с вискоеластичен буфер и моделирането му ([3], [4], [5], [10] и др.), в които са изследвани и моделирани вискоеластични буфери, като прави тела с плоска челна повърхнина. Но липват изследвания на буфери с форма на свободната челна повърхнина възприемаща удара различна от равнинна.

Целта на настоящата работа е да се проведат стендови изпитания и на базата на получените експериментални данни да се изследва влиянието на формата на свободната челна повърхнина възприемаща удара върху основните параметри на ударния импулс при удар на гумен буфер с твърдо тяло за различни нива на енергийно натоварване.

Обект на изследване са шест броя геометрично подобни гумени буфери  $\phi 100 \times 100$  със сферична форма на повърхнината възприемаща удара с радиуси:  $R=\infty$  (плоска форма),  $R=120$ ,  $R=100$ ,  $R=80$ ,  $R=60$ ,  $R=40$ .

След числената им обработка са представени част от резултатите от експерименталното изследване, като същите са оформени таблично и графично.

### 2. Предпоставки и начин за решаване на проблема

Изпитанията са проведени на стенд за изпитване на вискоеластични буфери на удар, конструкцията и параметрите на който са описани подробно в [9] при използване на методика за изпитване на буфери изложена в [8]. Изпитваните буфери са натоварвани ударно при 5 различни стойности на енергията и съответно скоростта на удара. Между отделните експерименти е осигурявано достатъчно време за завършване на релаксационните процеси протичащи в материала от който те са изработени.

Използваната измервателна апаратура включва акселерометър KD35 на MMF, усилвател TYPE 2635 на B&K, 16 bit аналогово цифров преобразувател NIUSB6212 на National Instrument и персонален компютър. Експерименталните изследвания са предшествани от надлежна тарировка на измервателната апаратура, за която е използван вибростенд ET0001 – RFT. Получените файлове с данни са съхранявани в дисковото пространство за по-късната им обработка и анализ. При изпитанията и обработката на получените данни са използвани програмните пакети LabVIEW10 и MathCad14.

### 3. Решаване на проблема. Резултати и дискусия

Масивите от стойности на ускорението на махалото на стенда във функция от времето, получени по време на експеримента носят информация и за времето преди и след удара. Това налага отделянето на информацията за удара (ударния импулс) в самостоятелен информационен масив. Поради комплексния му характер (импулса съдържа и информация за движението на вискоеластичната вълна, възникваща при удара във вид на наложени върху него трептения, особено силно открояващи се при големи стойности на енергията на удара) за отстраняване на наложените трептения е приложено филтриране.

На фиг. 1 е показано ускорението на махалото  $a(t)$  и резултата след филтрирането му  $a_{Filt}(t)$  за един от експерименталните масиви.

Използваният (FIR) филтър е на Savitzky-Golay, от четвърти ред с прозорец от 8 точки. Това е изглаждащ филтър, който извършва локална полиномна регресия над масива с данни и в конкретния случай дава много добри резултати.

С помощта на потребителски програми масивите от стойности за ускорението  $a_{Filt}(t)$  са числено двукратно

интегрирани, като са получени данни за скоростта  $v(t)$  и преместването  $d(t)$  на махалото на стенда.

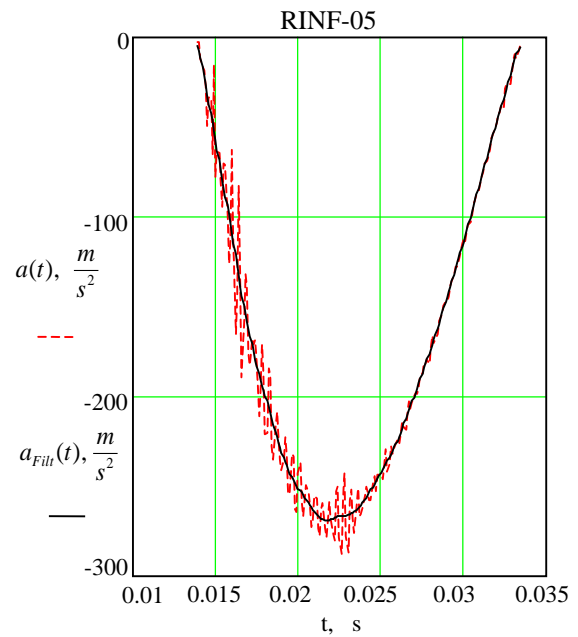
На фиг. 2 са показани резултатите, получени при удар на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при енергия на удара  $E = 9.68J$ . Представени са: ускорението  $a_{Filt}(t)$ , скоростта и преместването на махалото на стенда.

Данните за началният ъгъл на махалото  $\alpha_0$ , енергията на удара  $E$ , максималното ускорение  $a_{max}$ , продължителността на ударния импулс  $\tau_{IMP}$ , скоростите в началото и края на

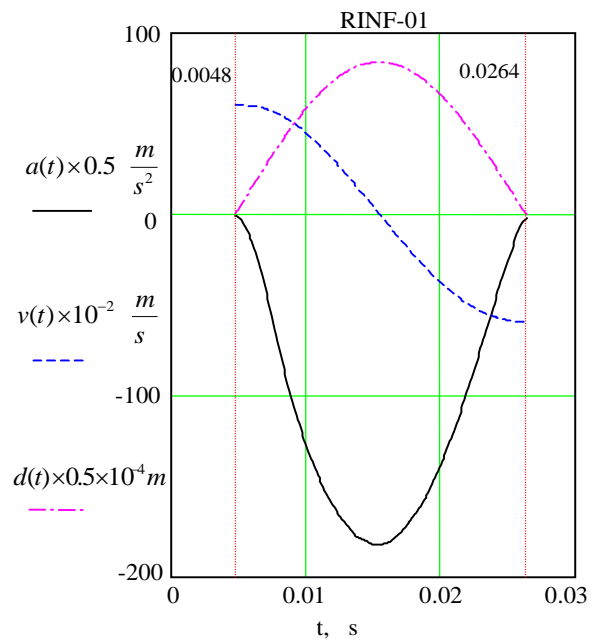
удара  $v_1$  и  $v_2$  и максималната стойност на преместването (деформацията на буфера)  $d_{max}$  за всички буфери са систематизирани и представени таблично в табл. 1.

**Табл. 1.** Експериментални резултати при удар на гумени буфери с твърдо тяло за различни стойности на радиуса на свободната челна повърхнина при различни значения на енергията на удара.

$\alpha_0$ , deg	$E, J$	$a_{max}, m/s^2$	$\tau_{IMP}, s$	$v_1, m/s$	$v_2, m/s$	$d_{max} \times 10^{-3}, m$
RB $\phi 100 \times 100 - R=INF$						
21.2	9.422	-91	0.0216	0.602	-0.602	4.208
28.37	21.756	-139	0.0201	0.922	-0.864	5.701
35.57	37.068	-184	0.0197	1.213	-1.112	7.226
42.48	54.545	-227	0.0198	1.489	-1.345	8.901
49.82	75.805	-269	0.0195	1.768	-1.553	10.230
RB $\phi 100 \times 100 - R=120$						
21.2	9.422	-77	0.0267	0.597	-0.576	5.198
28.37	21.756	-128	0.0236	0.923	-0.848	6.844
35.57	37.068	-176	0.0226	1.169	-1.137	8.521
42.48	54.545	-217	0.0220	1.450	-1.356	10.080
49.82	75.805	-264	0.0211	1.745	-1.568	11.337
RB $\phi 100 \times 100 - R=100$						
21.2	9.422	-77	0.0267	0.597	-0.576	5.198
28.37	21.756	-125	0.0244	0.919	-0.851	7.104
35.57	37.068	-171	0.0233	1.203	-1.100	8.845
42.48	54.545	-217	0.0226	1.486	-1.320	10.463
49.82	75.805	-264	0.0216	1.751	-1.549	11.670
RB $\phi 100 \times 100 - R=80$						
21.2	9.422	-73	0.0278	0.602	-0.571	5.377
28.37	21.756	-119	0.0257	0.910	-0.868	7.525
35.57	37.068	-164	0.0246	1.197	-1.117	9.408
42.48	54.545	-208	0.0235	1.458	-1.344	10.874
49.82	75.805	-257	0.0228	1.745	-1.559	12.660
RB $\phi 100 \times 100 - R=60$						
21.2	9.422	-71	0.0285	0.612	-0.570	5.535
28.37	21.756	-115	0.0260	0.914	-0.851	7.493
35.57	37.068	-159	0.0250	1.211	-1.103	9.477
42.48	54.545	-202	0.0241	1.464	-1.345	11.128
49.82	75.805	-249	0.0235	1.757	-1.548	12.814
RB $\phi 100 \times 100 - R=40$						
21.2	9.422	-65	0.0311	0.606	-0.568	5.968
28.37	21.756	-106	0.0290	0.901	-0.854	8.429
35.57	37.068	-146	0.0274	1.179	-1.108	10.372
42.48	54.545	-186	0.0263	1.450	-1.338	12.120
49.82	75.805	-228	0.0253	1.706	-1.566	13.660



**Фиг. 1.** Ускорение при удар  $a(t)$  на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при енергия на удара  $E = 75.81J$  и филтриран негов вариант  $a_{Filt}(t)$  с отстранени наложени трептения вследствие движението на еластичната вълна.

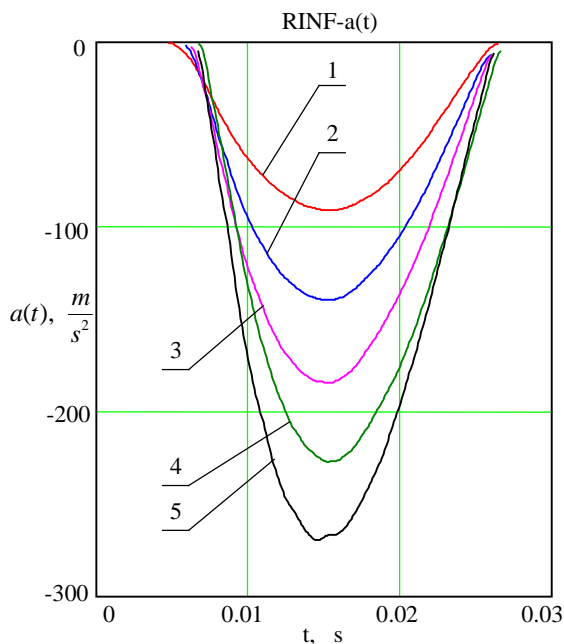


**Фиг. 2.** Ускорение при удар  $a_{Filt}(t)$  на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при енергия на удара  $E = 9.42J$ , скорост  $v(t)$  и преместване  $d(t)$  на свободната челна повърхнина възприемаща удара.

За целите на анализа данните за ускорението, скоростта и преместването на махалото при различни начални условия на удара са хоризонтално (по оста на времето) отместени и центрирани съответно спрямо максималното ускорение,

нулевата стойност на скоростта и максималното преместване за един от случаите на натоварване.

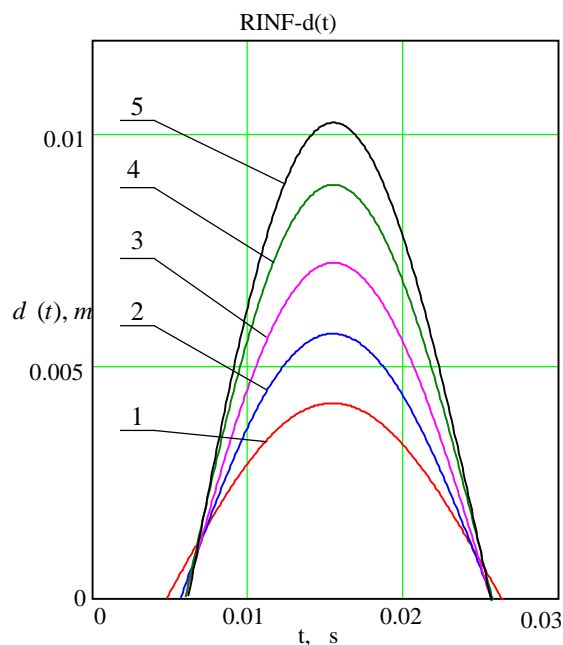
На фиг. 3...фиг.5 са показани съответно ускорението, скоростта и преместването при удар на твърдо тяло с гумен буфер  $\phi 100 \times 100 - R=INF$  (плоска челна повърхнина).



**Фиг. 3.** Ускорение (закъснение) при удар  $a_{Fil}(t)$  на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при различни стойности на енергията на удара:

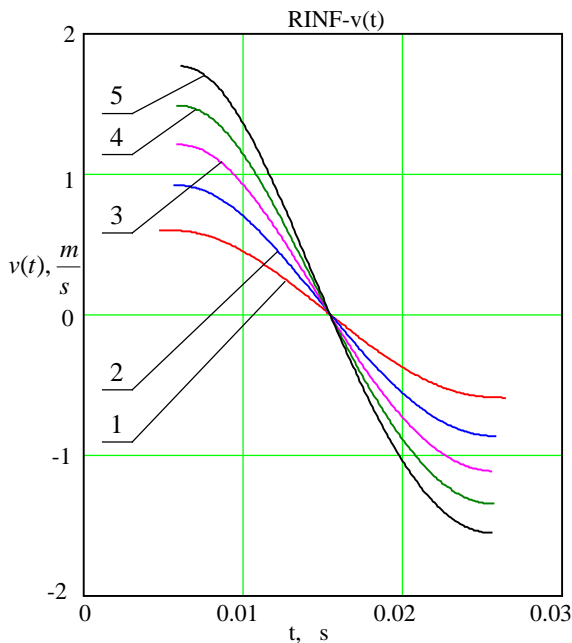
- 1 -  $E = 9.42J$ , 2 -  $E = 21.76J$ , 3 -  $E = 37.07J$ ,
- 4 -  $E = 54.54J$ , 5 -  $E = 75.80J$ .

От анализа на получените данни за ускорението и от графиките на фиг. 3 може да се заключи, че времето на удара практически не зависи от енергията на удара при буфери с плоска челна повърхнина и зависи единствено от съотношението на масите на удрящите се тела. От анализа на данните за скоростта и графиките на фиг.4 е видно че скоростта (в началото) на удара  $v_1(t)$  съществено превишава като



**Фиг. 5.** Преместване  $d(t)$  при удар на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при различни стойности на енергията на удара:

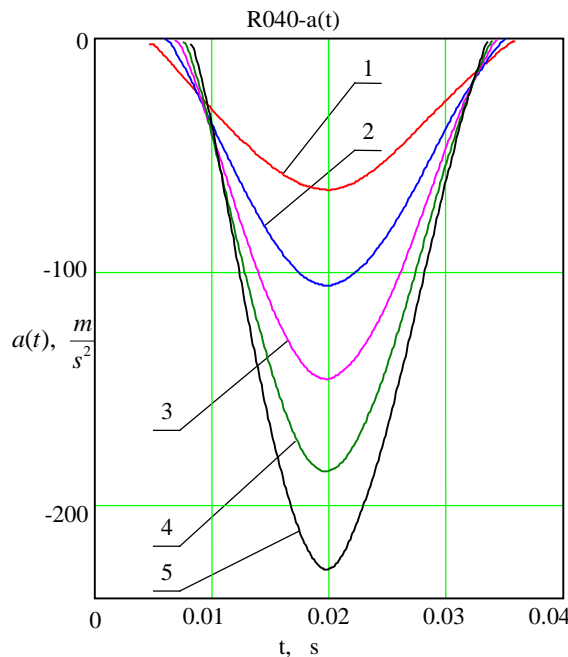
- 1 -  $E = 9.42J$ , 2 -  $E = 21.76J$ , 3 -  $E = 37.07J$ ,
- 4 -  $E = 54.54J$ , 5 -  $E = 75.80J$ .



**Фиг. 4.** Скорост  $v(t)$  при удар на гумен буфер с плоска челна повърхнина ( $R=INF$ ) при различни стойности на енергията на удара:

- 1 -  $E = 9.42J$ , 2 -  $E = 21.76J$ , 3 -  $E = 37.07J$ ,
- 4 -  $E = 54.54J$ , 5 -  $E = 75.80J$ .

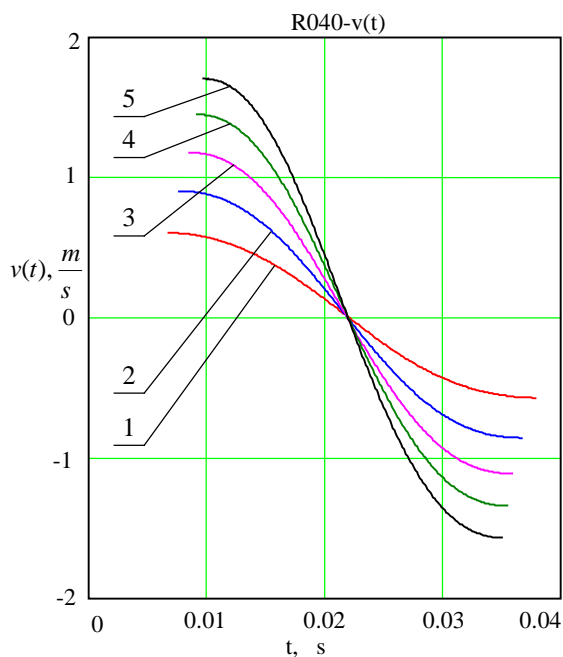
На фиг. 6...фиг.8 са показани резултатите за другия граничен случай - съответно ускорението, скоростта и преместването при удар на твърдо тяло с гумен буфер  $\phi 100 \times 100$  с радиус на сферичната челна повърхнина  $R=40mm$ .



**Фиг. 6.** Ускорение (закъснение)  $a_{Fil}(t)$  при удар на гумен буфер със сферична челна повърхнина ( $R=40mm$ ) при различни стойности на енергията на удара:

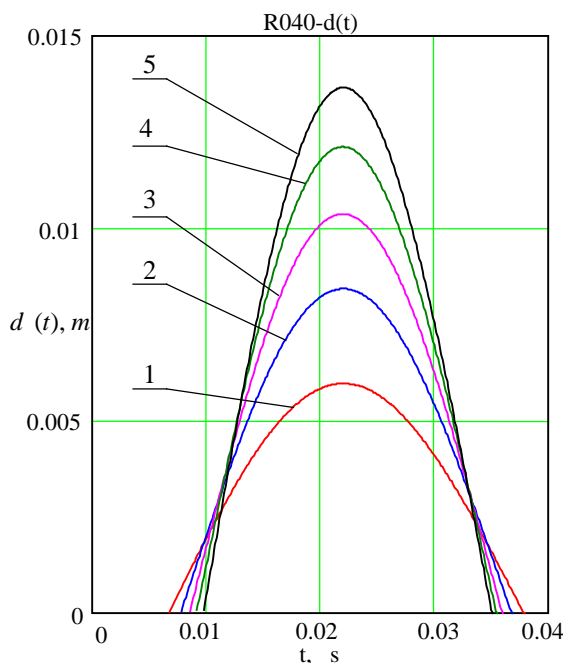
- 1 -  $E = 9.42J$ , 2 -  $E = 21.76J$ , 3 -  $E = 37.07J$ ,
- 4 -  $E = 54.54J$ , 5 -  $E = 75.80J$ .

абсолютна стойност скоростта в края му  $v_2(t)$ , което се дължи на наличието на дисипация на енергия за времето на удара, а разсеяното количество енергия расте с нарастване на енергията на удара.



**Фиг. 7.** Скорост  $v(t)$  при удар на гумен буфер със сферична челна повърхнина ( $R=40\text{mm}$ ) при различни стойности на енергията на удара:

1 -  $E = 9.42\text{J}$ , 2 -  $E = 21.76\text{J}$ , 3 -  $E = 37.07\text{J}$ ,  
4 -  $E = 54.54\text{J}$ , 5 -  $E = 75.80\text{J}$ .



**Фиг. 8.** Преместване  $d(t)$  при удар на гумен буфер със сферична челна повърхнина ( $R=40\text{mm}$ ) при различни стойности на енергията на удара:

1 -  $E = 9.42\text{J}$ , 2 -  $E = 21.76\text{J}$ , 3 -  $E = 37.07\text{J}$ ,  
4 -  $E = 54.54\text{J}$ , 5 -  $E = 75.80\text{J}$ .

При удара на твърдо тяло с гумен буфер  $\phi 100 \times 100$  с радиус на сферичната челна повърхнина  $R=40\text{mm}$  резултатите

от фиг. 6...фиг. 8 показват, че продължителността на удара се влияе съществено от енергийното натоварване.

За ниски нива  $\tau_{IMP}$  заема по-високи стойности в сравнение с буферите с плоска челна повърхнина, което увеличава ефективността им с около 20%, но при високи енергийни нива  $\tau_{IMP}$  намалява с което в известна степен намалява ефективността от използването им.

#### 4. Заключение

Въз основа на резултатите получени при това изследване и техния анализ могат да бъдат направени следните изводи:

1. Изборът на цилиндрични буфери със сферична форма на свободната челна повърхнина в сравнение с тези с плоска повърхнина води до значително снижаване на максималното ускорение  $a_{\max}(t)$  при удар, увеличаване продължителността на удара  $\tau_{IMP}$  и като цяло по-благоприятно разпределение на ударната сила във времето при намаляване на радиуса. Ефективността на тези буфери обаче е висока при относително ниски нива на енергийно натоварване.

2. Буферите с равнинна форма на свободната челната повърхнина запазват своята ефективност и при високи нива на енергийно натоварване.

3. Разсейваните количества енергия растат с нарастване на енергийното натоварване и при шестте вида изпитвани буфери.

#### 5. Литература

- [1] Голдсмит В. Удар – теория и физически свойства соударяемых тел. М., Изд. Л-ры по строительству, 1965, 448с.
- [2] Дымников С. И., Э. Э. Лавендел, М. А. Павловкис, М. И. Сниегс. Прикладны методы расчета изделий из высокоэластичных материалов. Рига, Зинатне, 1980, 238 с.;
- [3] Митев Н. Аналитично изследване поведението на образци от вискоеластични материали подложени на импулсно външно въздействие. Trans & MOTAUTO'06, Варна, 2006 г., том III, с. 10...13;
- [4] Митев Н., Б. Пенков, С. Петков. Вискоеластични буфери – установяване параметрите на ударния процес. Международна научна конференция UNITECH'05. Габрово, 2005 г., том II, с. II-57...II-62;
- [5] Митев Н. Експериментално изследване поведението на образци от вискоеластични материали подложени на импулсно външно въздействие. Trans & MOTAUTO'06, Варна, 2006 г., том III, с. 06...09;
- [6] Митев Н. Методика за пресмятане на вискоеластични буфери за подъемно-транспортни машини. XVIII национална научно-техническа конференция с международно участие - АДП 2009. Созопол, 2009 г., с. 131...136;
- [7] Пенков Б., Н. Митев. Определяне коефициентът на възстановяване на скоростите при удар върху буфер. VII Международна конференция по машиностроителна техника и технологии, AMTEX-2003. Варна, 2003 г., кн. №3, с. 202...206;
- [8] Пенков Б., С. Петков, Н. Митев. Методика за изпитване на буфери. VII Международна конференция по машиностроителна техника и технологии, AMTEX-2003. Варна, 2003 г., кн. №3, с. 199...202;
- [9] Пенков Б., С. Петков, Н. Митев. Стенд за изпитване на буфери. Известия на Технически университет – Габрово, том 28, 2003, с. 26...29;
- [10] Mitev N. Viscoelastic Buffers Behavior Investigation Subjected to a Shock Loading. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського № 2 / 2008 (49) –2, с. 96...100, Украйна, Полтава, 2008 г.;