

ЧИСЛЕНО ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА НЯКОИ ЕНЕРГО-СИЛОВИ ПАРАМЕТРИ ПРИ УДАР НА ТВЪРДО ТЯЛО С ГУМЕН БУФЕР ПРИ СФЕРИЧНА ФОРМА НА СВОБОДНАТА ЧЕЛНА ПОВЪРХНИНА ВЪЗПРИЕМАЩА УДАРА

NUMERICAL INVESTIGATION FOR MODELING OF SOME ENERGY-FORCE PARAMETERS AT AN IMPACT OF A RIGID BODY WITH A RUBBER BUFFER WITH SPHERICAL SHAPE OF THE FREE FRONT FACE RECEIVING THE IMPACT

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

E-mail: mitev_n@tugab.bg

Abstract: On the basis of the experimental data obtained from a natural experiment of an impact on a set of geometrically similar rubber buffers with different radii of the spherical front face receiving the impact and a numerical experimenting with them, basic energy-force dependences have been determined. Relevant conclusions have been made.

Keywords: IMPACT, IMPACT FORCE, VISCOELASTIC IMPACT, RUBBER BUFFER, VISCOELASTIC BUFFER

1. Увод

Гумените буфери са елементи на безопасността използвани във всички области на машиностроенето за защита на елементи от конструкции от недопустими стойности на ударната сила. Характерна особеност на тяхното функциониране е, че между удрящите се тела за относително кратко време се извършва енергиен обмен с високи енергийни нива, като определена част от енергията на удара се разсейва в околната среда във вид на топлина. Вълновото движение на маса в буфера и дисипативните свойства на материалите, от които те се изработват помагат за интензификацията на този процес. Буферите се изработват като прави тела с конична, цилиндрична, призматична или пирамидална форма, като челната повърхнина най-често е равнинна. Конструирването на буфери с не плоска челна повърхнина води до промяна на параметрите на ударния процес и трудности при тяхното изясняване и моделиране.

На буферите с не плоска челна повърхнина и техните характеристики са посветени ограничен брой публикации. Известно е, че буферите от изследвания в тази публикация вид са много по ефективни при най-ниски нива на енергийно натоварване, като при високи нива ефективността им намалява и е по-ниска от тази на буферите с плоска челна повърхнина.

Обект на изследване са шест броя гумени буфери с конична форма, с разлика в радиуса на сферичната челна повърхнина между двете гранични стойности - $R=40$ до $R=\infty$ (т. е. плоска повърхнина).

Цел на настоящата работа е да се изследват основни параметри на гама геометрично подобни гумени буфери със сферична челна повърхнина, като се предложи апроксимация на зависимостта на максималната динамична сила от енергията на удара, зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) и оцени влиянието на радиуса на челната повърхнина.

2. Предпоставки и начин за решаване на проблема

Представените в този доклад резултати са получени с помощта на числени експерименти над база данни, получена с помощта на натурен експеримент на удар при стъпално изменение на енергията на удара. Изследваните буфери са от

гума марка M531A. Всички числени експерименти са проведени в среда на MathCAD с помощта на потребителски програми и при използване на някои вградени в системата функции.

3. Решаване на проблема. Резултати и дискусия

За апроксимация на зависимостта на максималната динамична сила F_{din_max} от енергията на удара е експериментирано с различни по вид зависимости, като най-добри резултати са получени при използване на зависимостта:

$$(1) \quad F_{din_max} = AE^b,$$

където E е енергията на удара в J.

Стойностите на коефициентите A и b , както и достигнатите коефициенти на корелация са представени в табл. 1, а резултатите от апроксимацията са показани на фиг. 1.

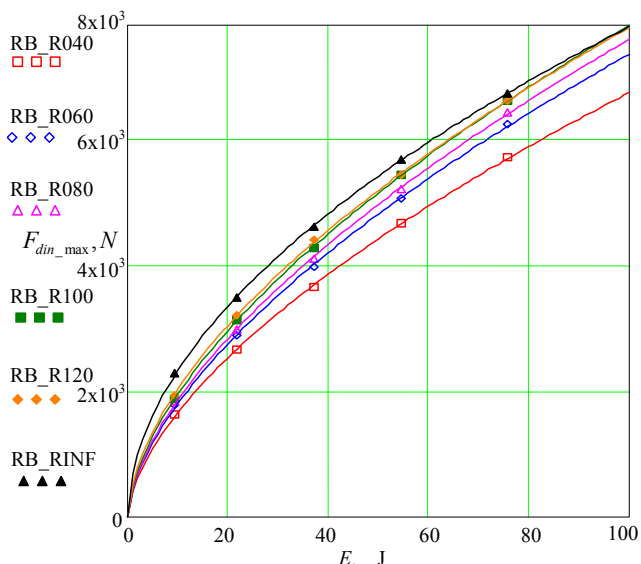
Табл. 1. Стойности на регресионните параметри при апроксимиране на $F_{din_max}(E)$ с помощта на зависимостта (1).

ВИД БУФЕР	A	b	Коеф. на корелация r
RB_R040	406.75	0.6094	0.99996
RB_R060	439.17	0.6116	0.99993
RB_R080	452.91	0.6117	0.99993
RB_R100	486.64	0.6025	0.99999
RB_R120	530.01	0.5828	0.99993
RB_RINF	693.83	0.5248	0.99997

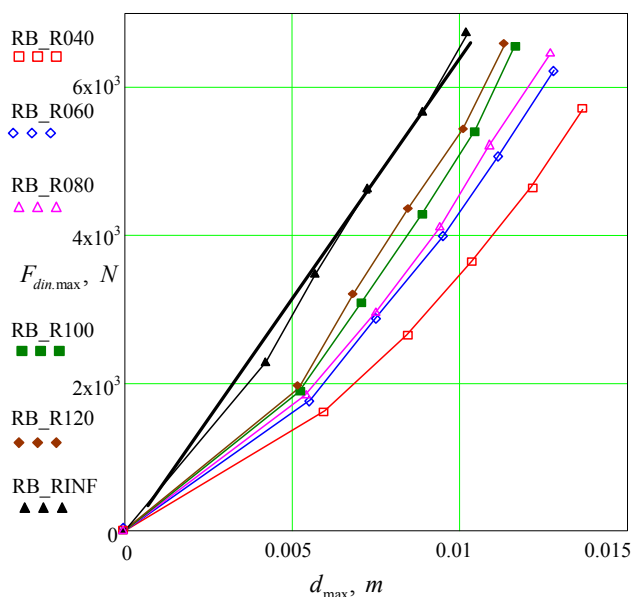
При гумени буфери със сферична челна повърхнина зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) има ясно изразен нелинеен характер. Линейна апроксимация е възможна единствено за буфер RB_RINF с плоска челна повърхнина и то при значително отклонение от експерименталната крива.

Експерименталните криви представящи зависимостта на максималната динамична сила от деформацията и опитът за линеаризация при буфер с плоска челна повърхнина са

представени на фиг. 2. Коэффициентът на корелация в този случай е $r = 0.9971$.



Фиг. 1. Резултати от числен експеримент за апроксимация на зависимостта на максималната динамична сила F_{din_max} от енергията на удара със зависимостта (1) за конусни гумени буфери със сферична челна повърхнина с радиуси $R=40, 60, 80, 100, 120$ и $R=INF$ (плоска челна повърхнина)



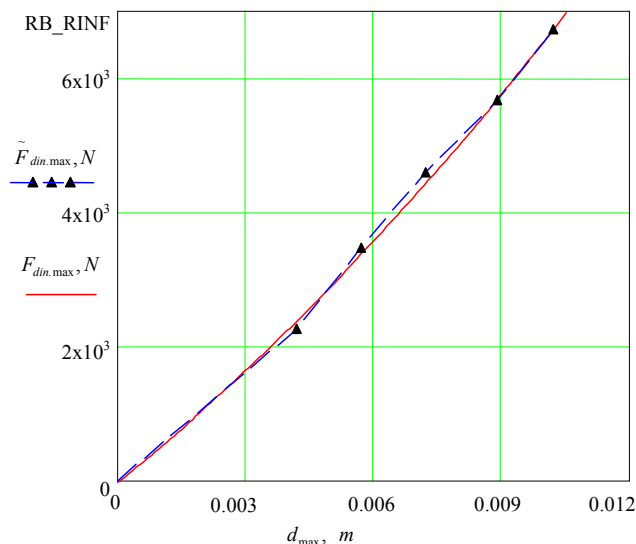
Фиг. 2. Експериментални криви представящи зависимостта на максималната динамична сила F_{din_max} от деформацията (динамичната коравина) и резултатът от опита за линеаризация на същата за гумен буфер с плоска челна повърхнина. Конусни гумени буфери със сферична челна повърхнина с радиуси $R=40, 60, 80, 100, 120$ и $R=INF$ (плоска челна повърхнина).

За апроксимиране на зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) е използван полином от втора степен т.е. зависимостта (2), с която са постигнати много добри резултати. Резултатите от числените експерименти със зависимостта (2) са представени таблично в табл.2 и графично за всеки от изследваните буфери на фиг. 3...фиг.9.

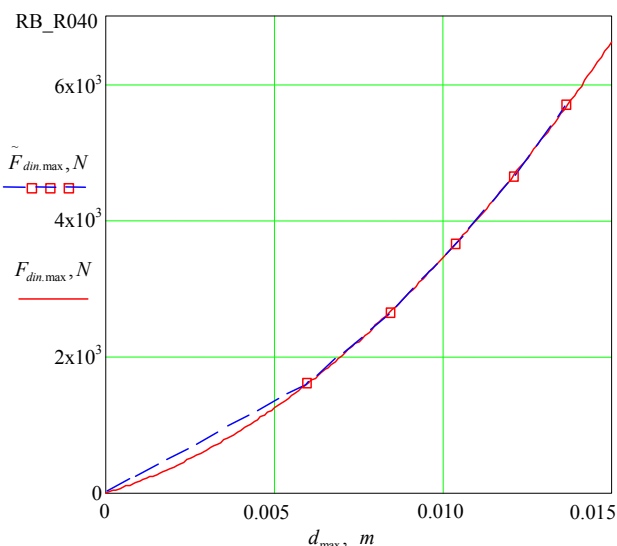
$$(2) \quad F_{din_max} = A_1 + A_2 \cdot d_{max} + A_3 \cdot d_{max}^2$$

Табл. 2. Стойности на регресионните параметри при апроксимиране на $F_{din_max}(d_{max})$ с помощта на уравнение (2).

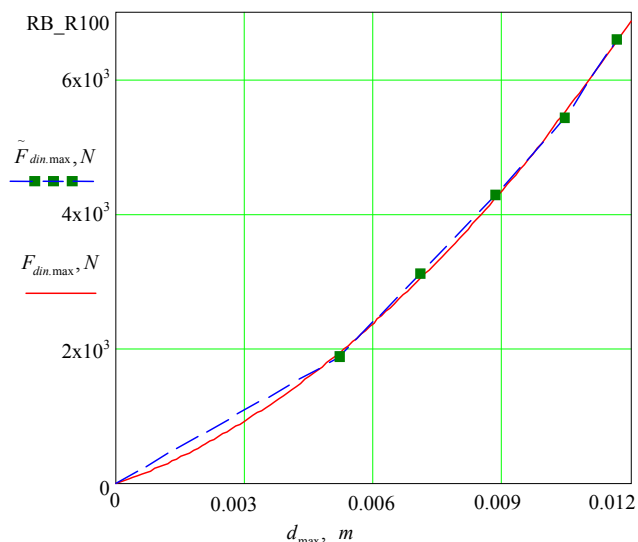
ВИД БУФЕР	A_1	A_2	A_3	Коеф. на корелация r
RB_R040	5.603	$1.528 \cdot 10^5$	$1.920 \cdot 10^7$	0.99995
RB_R060	-13.406	$2.214 \cdot 10^5$	$2.087 \cdot 10^7$	0.99979
RB_R080	-9.553	$2.258 \cdot 10^5$	$2.260 \cdot 10^7$	0.99981
RB_R100	-7.017	$2.231 \cdot 10^5$	$2.912 \cdot 10^7$	0.99964
RB_R120	-27.642	$2.624 \cdot 10^5$	$2.832 \cdot 10^7$	0.99884
RB_RINF	-30.439	$5.293 \cdot 10^5$	$1.305 \cdot 10^7$	0.99922



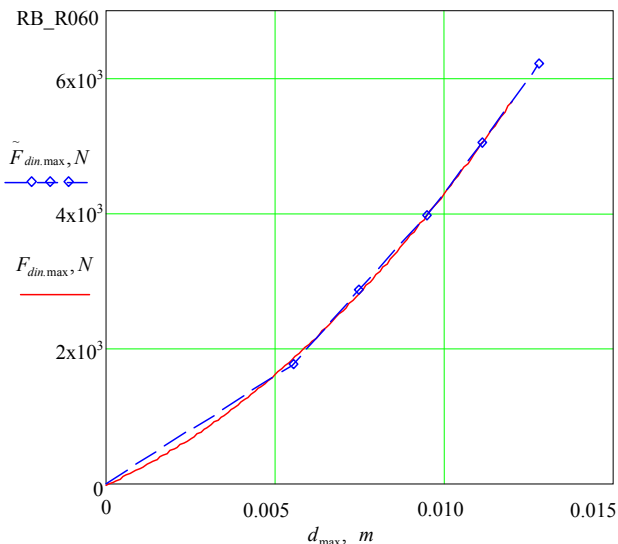
Фиг. 3. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с плоска челна повърхнина (Буфер RB_RINF)



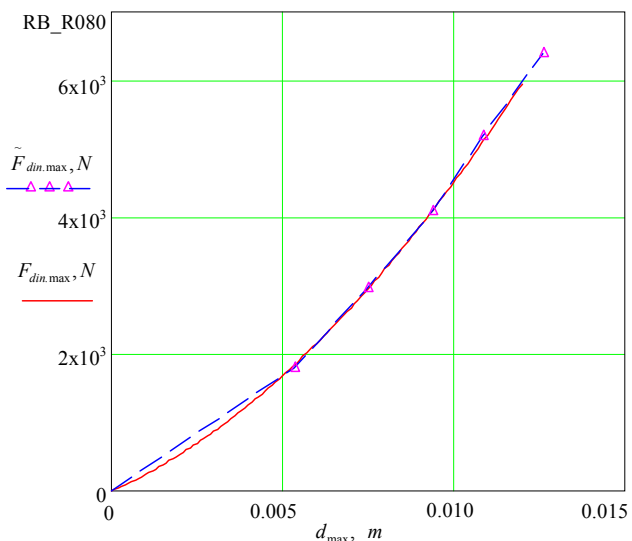
Фиг. 4. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с радиус на сферичната челна повърхнина $R=120mm$ (Буфер RB_R120).



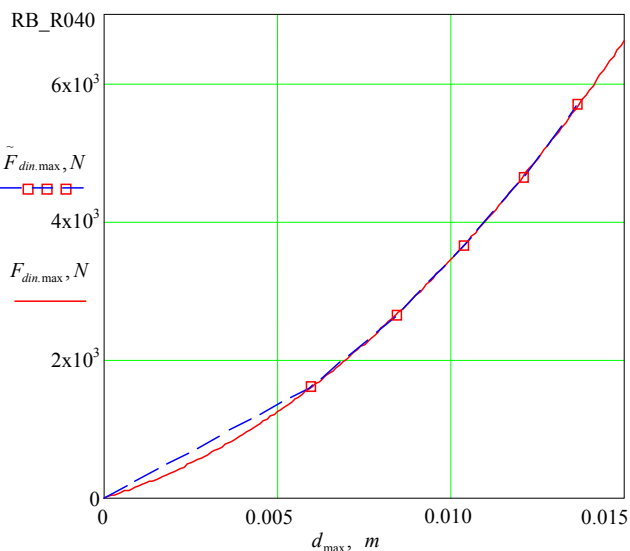
Фиг. 5. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с радиус на сферичната челна повърхнина $R=120mm$ (Буфер RB_R100).



Фиг. 7. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с радиус на сферичната челна повърхнина $R=120mm$ (Буфер RB_R060).



Фиг. 6. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с радиус на сферичната челна повърхнина $R=120mm$ (Буфер RB_R080).



Фиг. 8. Експериментална крива представяща зависимостта на максималната динамична сила от деформацията (динамичната коравина) $\tilde{F}_{din_max}(d_{max})$ и апроксимиращата я със зависимостта (2) крива $F_{din_max}(d_{max})$ при гумен буфер с радиус на сферичната челна повърхнина $R=120mm$ (Буфер RB_R040).

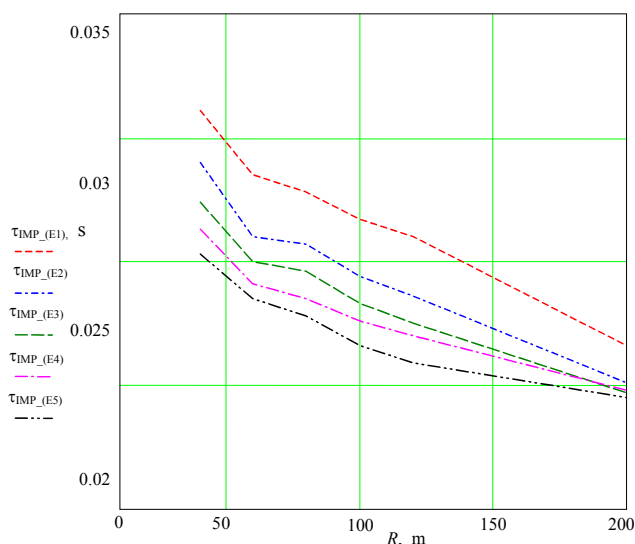
Експерименталните точки в графиките на фиг. 1 ... фиг. 8 са получени при начална скорост на удара съответно: 0; 0.612; 0.914; 1.211; 1.464 и 1.757 m/s, като стойностите са свързани с особеностите на използвания стенд.

Друга основна характеристика на изследваните буфери е зависимостта на продължителността на ударния импулс от радиуса на сферичната челна повърхнина, възприемаща удара при различни нива на енергийно натоварване. Резултатите от това изследване са показани в табличен вид в табл. 3. Графика на зависимостта на τ_{IMP} от R е показана на фиг. 9.

Табл. 3. Числени стойности на продължителността на ударния импулс τ_{IMP} от радиуса R на челната повърхнина, възприемаща удара при различни стойности на енергията на удара:

1. $E1=9.42J$, 2. $E2=21.76J$, 3. $E3=37.07J$, 4. $E4=54.54J$, 5. $E5=75.80J$

R	$\tau_{IMP E1}$	$\tau_{IMP E2}$	$\tau_{IMP E3}$	$\tau_{IMP E4}$	$\tau_{IMP E5}$
40	0.0311	0.0290	0.0274	0.0263	0.0253
60	0.0285	0.0260	0.0250	0.0241	0.0235
80	0.0278	0.0257	0.0246	0.0235	0.0228
100	0.0267	0.0244	0.0233	0.0226	0.0216
120	0.0260	0.0236	0.0225	0.0220	0.0209
200	0.0216	0.0201	0.0197	0.0198	0.0195



Фиг. 9. Експериментални криви представящи зависимостта на продължителността на ударния импулс τ_{IMP} от радиуса R на челната повърхнина, възприемаща удара при различни стойности на енергията на удара:

1. $E1=9.42\text{ J}$, 2. $E2=21.76\text{ J}$, 3. $E3=37.07\text{ J}$, 4. $E4=54.54\text{ J}$, 5. $E5=75.80\text{ J}$.

4. Заключение

Въз основа на данните, получени с натурен експеримент на удар на гумени буфери с конична форма и сферична челна повърхнина и числените експерименти проведени с тях могат да бъдат направени следните изводи:

1. Зависимостта на максималната динамична сила от енергийното натоварване $F_{din_max}(E)$ на буферите при удар на твърдо с гумен буфер има нелинеен характер за всички изследвани буфери. С намаляване на радиуса на сферичната челна повърхнина възприемаща удара зависимостта на $F_{din_max}(E)$ от енергията на удара намалява.

Зависимостта за всеки от изследваните буфери е апроксимирана с помощта на уравнение (1) с достатъчна за инженерната практика точност;

2. Зависимостта на максималната динамична сила от максималната деформация $F_{din_max}(d_{max})$ за всички изследвани буфери има нелинеен характер. Възможна е линейна апроксимация на същата единствено за буферите с плоска челна повърхнина при относително ниски стойности на коефициента на корелация. За буферите със сферична челна повърхнина е възможна частична линеаризация на кривите за относително високите нива на енергийно натоварване.

Зависимостта на максималната динамична сила от максималната деформация $F_{din_max}(d_{max})$ за всички изследвани буфери се апроксимира с достатъчно висока за инженерната практика точност с помощта на зависимостта (2).

3. Определена е и е представена графично зависимостта на продължителността на ударния импулс τ_{IMP} от радиуса R на сферичната челна повърхнина за различни нива на енергийно натоварване. С увеличаване на радиуса τ_{IMP} намалява по нелинеен закон. Получените стойности за продължителността на ударния импулс са за съотношение на масите на ударящите се тела $m_{rb} / m_{buffer} = 88.90$ (за буфер RB_R040).

4. Литература

- [1] Гольдсмит В. Удар – теория и физическите свойства соударяемите тел. М., Изд. Л-ры по строителству, 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., 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;
- [4] 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;
- [5] Митев Н. Изследване влиянието на формата на свободната челна повърхнина възприемаща удара върху параметрите на ударния импулс при удар на твърдо тяло с гумен буфер. Trans & MOTAUTO'13, Варна, 2013 г., том II, с. 59...62;
- [6] Митев Н. Изследване влиянието на формата на свободната челна повърхнина възприемаща удара при удар на твърдо тяло с гумен буфер върху енерго-силовите. Trans & MOTAUTO'14, Варна, 2014 г., том II, с. 93...95;
- [7] 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;
- [8] 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;
- [9] 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;
- [10] Пенков Б., С. Петков, Н. Митев. Стенд за изпитване на буфери. Известия на Технически университет – Габрово, том 28, 2003, с. 26...29;