

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТТА ЗА МОДЕЛИРАНЕ И ИЗПОЛЗВАНЕ НА КОЕФИЦИЕНТ НА ПРЕДАВАНЕ НА УДАРНАТА СИЛА ПРИ УДАР НА ТВЪРДО ТЯЛО С ГУМЕН БУФЕР

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY FOR MODELING AND USING THE IMPACT FORCE TRANSMISSION COEFFICIENT AT AN IMPACT OF A RIGID BODY WITH A RUBBER BUFFER

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

E-mail: mitev_n@tugab.bg

Abstract: On the basis of an experimental investigation of the impact of a rigid body with a rubber buffer, the experimental data obtained for the distribution of the impact force for the time of the impact (impact impulse) on the free front face, receiving the impact and the obtained reaction in the area of fixture of the buffer for the time of the impact and with the help of numerical investigation with them the possibility for modeling and using the impact force transmission coefficient has been investigated. The basic model's parameters have also been determined.

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

1. Увод

Изследването на удара на твърдо тяло с гумен буфер и неговото моделиране е свързано с решаването на редица частни проблеми като: изследване и моделиране на материалните свойства на буферите, изследване и моделиране на вълновото движение на маса в буферите, изследване на процеса на дисипация на част от енергията на удара, изследване и моделиране на основните параметри на ударния процес и др. Един от основните въпроси за които често се търси решение е въпросът какво е силовото въздействие в мястото на закрепване при използване на гумени буфери за защита на крановите метални конструкции от недопустими по големина ударни сили, възникващи при аварийни ситуации. Сложността на проблема се състои в това, че вследствие на вълновото движение на маса в буфера, ефектът на наслагване на вълновия фронт на падащата и отразена вълна и в зависимост от съотношението на масите на удрящите се тела, реакцията в мястото на закрепване на буфера може съществено да се отличава от възникващата при удара сила върху свободната челна повърхнина от буфера (както като разпределение на ударната сила за времето на удара, така и като пикова стойност).

Моделирането на въздействието на ударната сила в мястото на закрепване на буфера при удар на твърдо тяло с гумен буфер с помощта на коефициент на предаване на ударната сила е един от най-преките пътища за практическо решаване на проблема, както за целите на анализа на ударния процес, така и при инженерни пресмятания.

Целта на настоящата работа е да се изследва възможността за използване на коефициент на предаване на ударната сила в мястото на закрепване при удар на твърдо тяло в гумен буфер и се определят основните моделни параметри.

2. Предпоставки и начин за решаване на проблема

Обект на изследване са 8 броя гумени буфери с цилиндрична форма с размери $\phi 32 \times 38$, изработени от различни по вид каучукови смеси.

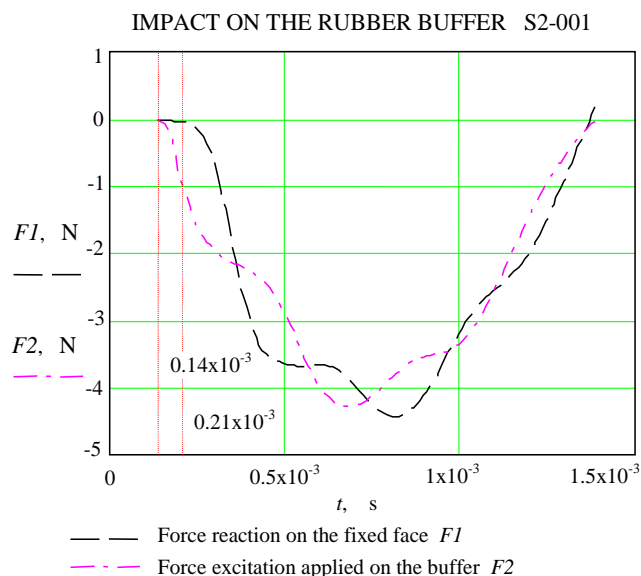
Въз основа на натурен експеримент на удар на твърдо тяло с гумен буфер са получените данни за разпределението на ударната сила въздействаща върху свободната челна повърхнина - $F_2(t)$, както и данни за разпределението на

реакцията $F_1(t)$ в мястото на закрепване на буфера към тяло с коравина и маса приети за безкрайно големи.

Измерванията са направени с помощта на надлежно тарирана измервателна техника, а всички числени обработки и експерименти са проведени с помощта на потребителски програми на MathCAD с използване на потребителски и вградени функции на системата. Представените в доклада резултати са за един от изследваните буфери – S2, изработен от гума марка M531a. За останалите изследвани буфери се получават сходни резултати.

3. Числени експерименти. Резултати и дискусия

Получените данни за реакцията на силата в мястото на закрепване (запване) $F_1(t)$ и ударното въздействие върху свободната челна повърхнина на буфера $F_2(t)$ са представени на фиг. 1.

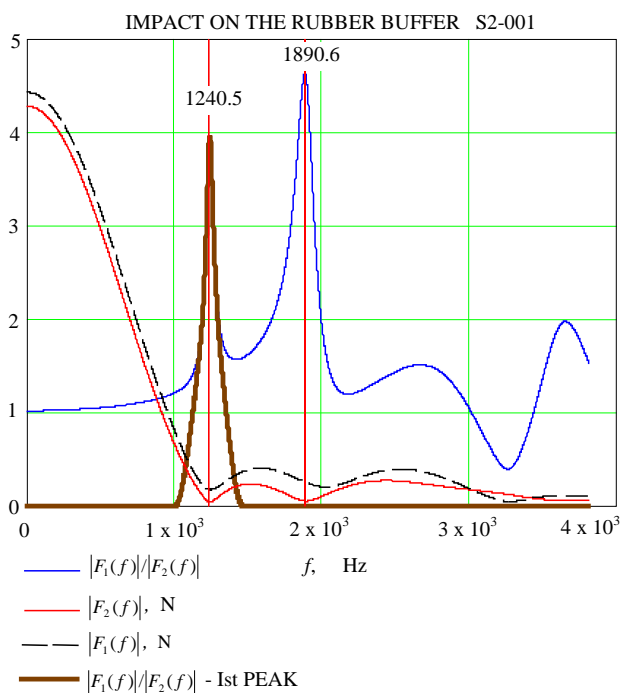


Фиг. 1. Удар на твърдо тяло с гумен буфер. Ударна сила F_2 върху свободната челна повърхнина на буфера и реакцията в мястото на закрепване F_1 .

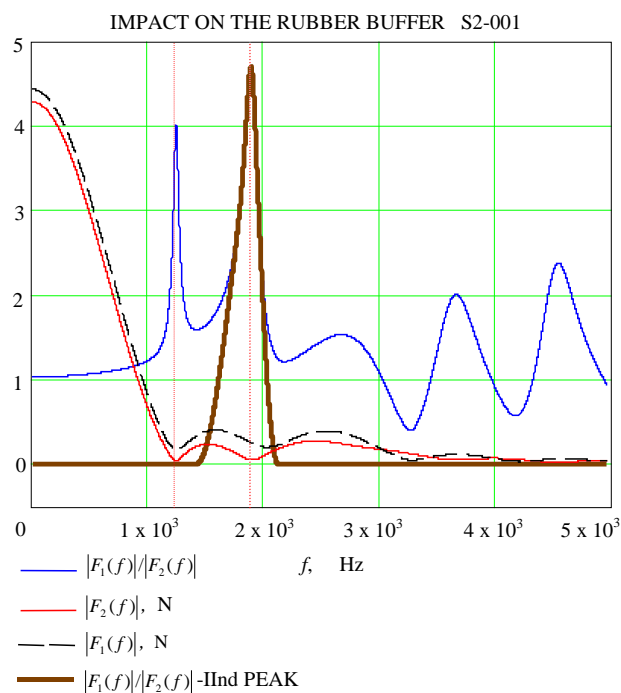
За постигане на поставената цел използваме честотната област. Както за всяка реална механична система и в случая имаме пълна симетрия в спектъра, като използваме тази за реални положителни стойности на честотата. Прилагаме дискретна фуриерова трансформация (DFT) над масивите със стойности на ударната сила $F_2(t)$ и реакцията в мястото на закрепване $F_1(t)$. Сформиравме нов масив представящ отношение на функцията на спектрална плътност (спектъра) на ударната сила $F_2(f)$ и функцията на спектрална плътност (спектъра) на реакцията в мястото на закрепване на буфера $F_1(f)$.

Съществува формална аналогия между отношението $F_2(f)/F_1(f)$ и механична система със съсредоточени параметри с една степен на свобода (SDOF) – елемент на Келвин. За дефинирането на параметрите на последната се използва най-често отношението на преместването на маса и силовото въздействие което го предизвиква в честотната област - $X(f)/F(f)$. И при двете функции (отношения) се наблюдават редуващи се зони на резонанс и антирезонанс. И въпреки, че аналогията е формална (зоните на резонанс при отношението на спектрите на двете сили съответства на зони на антирезонанс при отношението на спектрите на преместването и предизвикващото го силово въздействие) тя може да бъде използвана за дефиниране на коефициент (или функция) на предаване на ударната сила.

На фиг. 2 и фиг. 3 са представени графики на функциите на спектрална плътност на силите $|F_2(f)|$, $|F_1(f)|$ и $|F_2(f)|/|F_1(f)|$. На фигурите се наблюдават и двата резонансни пика, които са определящи за поведението на системата в наблюдаваната част от спектъра. Използвайки отляво и отдясно на всеки от резонансните пикове прозрачни функции "Hanning" ги отделяме в самостоятелни информационни масиви. На фиг. 2 е показан и селектирания първи резонансен пик около резонансната честота – 1240.5 Hz, а на фиг. 3. селектирания втори резонансен пик за резонансната честота 1890.6 Hz.



Фиг. 2. Удар на твърдо тяло с гъмен буфер. Функция на спектралната плътност на ударна сила $|F_2(f)|$, функция на спектралната плътност на реакцията в мястото на закрепване $|F_1(f)|$, функция $|F_1(f)|/|F_2(f)|$ и селектирания с помощта на прозрачна функция "Hanning" I резонансен пик.



Фиг. 3. Удар на твърдо тяло с гъмен буфер. Функция на спектралната плътност на ударна сила $|F_2(f)|$, функция на спектралната плътност на реакцията в мястото на закрепване $|F_1(f)|$, функция $|F_1(f)|/|F_2(f)|$ и селектирания с помощта на прозрачна функция "Hanning" II резонансен пик.

Като първо приближение приемаме, че имаме система със слабо демпфиране, т.е., че демпфираната честота е приблизително равна на недемпфираната.

За пресмятане на коефициента на демпфиране по отношение на първия резонансен пик определяме честотната лента съответстваща на 3 dB от лентата на пропускане

За пресмятане на коефициента на демпфиране по отношение на първия пик определяме честотната лента съответстваща на 3dB от лентата на пропускане и първата резонансна честота f_1 , непосредствено от фиг. 4, която за целта е преизчислена в dB, използвайки вградената функция "Trace".

$f_1 = 1240.5 \text{ Hz}$ е демпфираната резонансна честота за I^{ви} пик.

$$\Delta f_{3dB} = 1270.3 - 1213.1$$

$$\Delta f_{3dB} = 57.2 \text{ Hz}$$

Скоростта на затихване с помощта на зависимостта

$$(1) \quad \sigma_1 = \pi \cdot \Delta f_{3dB}$$

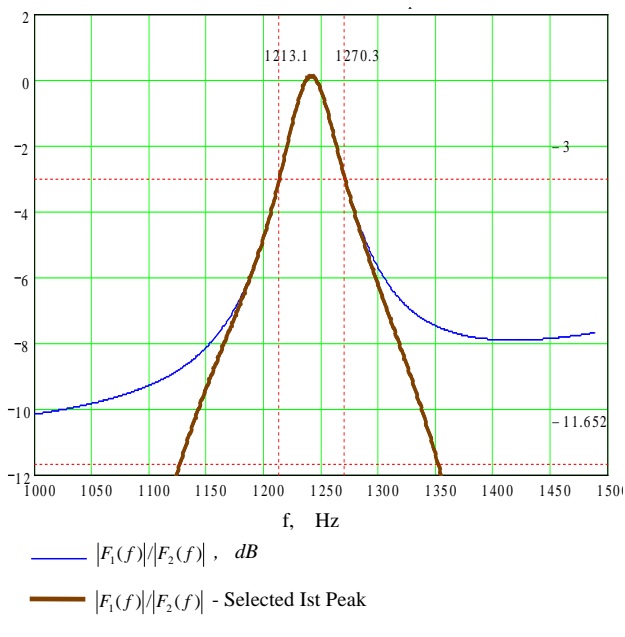
$$\sigma_1 = 179.7 \text{ rad/s}$$

Коефициентът на демпфиране за първия резонансен пик се определя със зависимостта

$$(2) \quad \zeta_1 = \frac{\Delta f_{3dB}}{2f_1}, \text{ или също така}$$

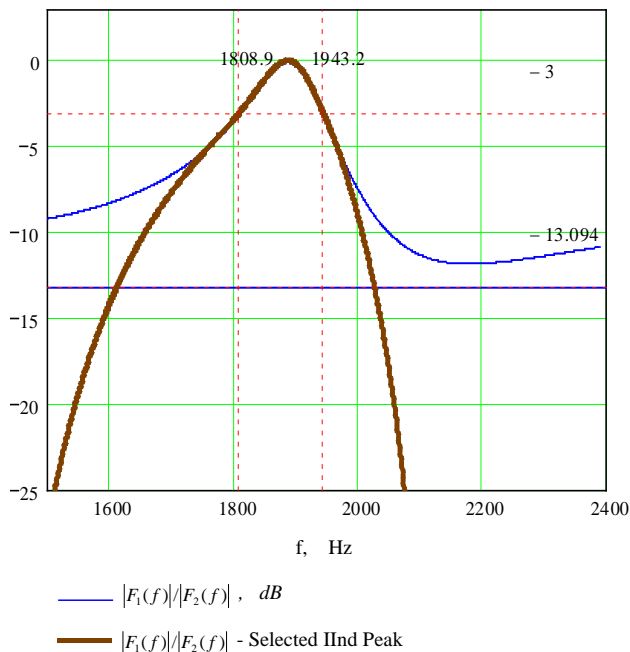
$$(3) \quad \zeta_1 = \frac{\sigma_1}{2\pi \cdot f_1}$$

$$\zeta_1 = 0.023055$$



Фиг. 4. Удар на твърдо тяло с гумен буфер. Определяне на граничните честоти и честотната лента съответстваща на ниво Δf_{-3dB} за първия резонансен пик.

За пресмятане на коефициента на демпфиране за Π^{II} резонансен пик използваме графиката показана на фиг. 5 и правим подобни пресмятания.



Фиг. 5. Удар на твърдо тяло с гумен буфер. Определяне на граничните честоти и честотната лента съответстваща на ниво Δf_{-3dB} за втория резонансен пик.

$f_2 = 1886.4 \text{ Hz}$ е демпфираната резонансна честота за Π^{II} пик.

$$\Delta f_{3dB} = 1943.2 - 1808.9$$

$$\Delta f_{3dB} = 134.3 \text{ Hz}$$

Скоростта на затихване по отношение на втория резонансен пик съответно е

$$\sigma_2 = \pi \cdot \Delta f_{3dB}$$

$$\sigma_2 = 421.92 \text{ rad / s}$$

Коефициентът на демпфиране

$$\zeta_2 = \frac{\Delta f_{3dB}}{2f_2}$$

$$\zeta_2 = \frac{\sigma_1}{2\pi \cdot f_2}$$

$$\zeta_2 = 0.035597$$

4. Заключение

Въз основа на проведените натурни експерименти при удар на твърдо тяло с гумен буфер S2 и численото експериментиране с тях, могат да бъдат направени следните изводи:

1. Изменението на ударната сила, приложена върху свободната челна повърхнина възприемаща удара $F_2(t)$ се различава съществено от реакцията в мястото на закрепване $F_1(t)$ на буфера, както по времето на възникване, така и като амплитудна стойност.

Закъснението при възникване на реакцията (при дадената дължина и плътност на буфера) е с около 7 ms. Закъснението при възникване на пиковата стойност за двете сили е около 13 ms;

2. Предложено е моделиране на коефициент на предаване на ударната сила (с помощта на каскадно свързани елементи на Келвин) и използвайки честотната област са определени основните моделни параметри.

5. Литература

[1] Гольдсмит В. Удар – теория и физическите свойства соударяемых тел. М., Изд. Л-ры по строительству, 1965, 448с.
 [2] Лавендел Э. Э., Абросимов Г. Э. Решение задачи об ударе абсолютно жестким телом по вязкоупругому стержню конечной длины. Всесоюзная Н. Т. конференция по методам расчета вискоэластичных материалов. Рига, 1977, 156 с.
 [3] Митев Н. Аналитично изследване поведението на образци от вискоеластични материали подложени на импулсно външно въздействие. trans & MOTAUTO' 06, Варна;
 [4] Митев Н. Аналитично определяне на свободните надлъжни колебания на образци от вискоеластични материали вследствие от импулсно външно въздействие. trans & MOTAUTO' 06, Варна;
 [5] Митев Н. Изследване удара на твърдо тяло с гумен буфер (Моделиране на материалните свойства и ударния импулс) Трета международна научно техническа конференция „Техника. Технологии. Образование. Сигурност“, В. Търново, 2015 г.;