

ПАРАМЕТРИЧЕН АНАЛИЗ НА НАДЕЖДНОСТТА НА РАМА ОТ ЖЕЛЕЗОПЪТНА ТАЛИГА

Добринка Атмаджова
atmadzhova@abv.bg

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
катедра “Транспортна техника”
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *Проектиране във вероятностен аспект, надеждност, заварена талигова рама.*

Резюме: *Надеждността на талиговите рами от железопътно превозно средство е повлияна от много фактори. За да се гарантира висока надеждност при конструирането е необходимо намиране на определящите фактори за безотказна работа. В тази статия е създаден параметричен модел на талигова рама, чрез използване на вероятностен (стохастичен) метод. Дебелината на листовите, натоварванията и материалните константи са определени като случайна променлива и полученото разпределение на параметрите се оценява статистически. Функциите на състоянието повреда се установяват с големината на силата за поява на умора и максималното напрежение допустимо за използваният материал или местоположението на заварката от заварената рама на талигата. Основно, в резултат на анализа, случайните променливи, които са чувствителни към надеждността на рамата на талигата ще бъдат контролирани и оптимизирани на практика така, че проектираната на талигова рама да бъде с висока надеждност. Методът, приложен в този документ, предвижда нов начин за оценка на надеждността и параметричната чувствителност на натоварването на носещата структура от високо скоростните возила.*

Увод

В процеса на проектиране и производство на талига от железопътни возила, метода за определяне на безопасност е метод за определяне допустимото натоварване при фиксирани стойности на вероятността за безотказна работа. В действителност, материалното изпълнение, размера на геометрията и натоварването на продукта имат неопределеност в процеса на проектиране на всеки продукт. Тази неопределеност може да доведе до грешка в анализа, и в резултат анализа може да бъде различен от физическата същност. Списък на изпитанията за оценка на подвижния железопътен състав (ПЖПС) е даден в таблица 1.

Таблица 1. Списък на изпитанията за оценка на надеждността на ПЖПС

№	Наименование на продукта. Тип на материала	Артикул, параметър, тип изпитване		Код на областта	Име на спецификацията, стандарта или използвания метод	Ограничения или ограниченост
		№	Наименование			
1	Цилиндрична винтова пружина от ПЖПС	1	Изпитване на умора	0306.04	Изпитване на умора на цилиндрични винтови пружини за локомотиви и возила ТВ/Т2211-1991	
2	Структура на материала, заварени възли и сглобени единици на ПЖПС	1	Изпитване на умора (Метод на въртящ лост)	0301.18	Изпитване на умора чрез метален въртящ се лост GB/Т4337-2008	Изпитание при висока температура не е включено
		2	Изпитване на умора (Метод на осево принудително регулиране)	0301.18	Изпитване на умора чрез метод на осево принудително регулиране на метали GB/Т3075-2008	
3	Структура на коша и талигите на ПЖПС	1	Изпитване на умора	0324.26	Якостни изпитвания на пътнически железопътни возила - талиги –талигови рами по фиш на UIC 515-4-1993; Якостни изпитвания на тягов състав – талиги и движещи се механизми по фиш на UIC 615-4-2003	Максимално осево натоварване по-малко от 27 t
		2	Якост	0324.26	Спецификация на натоварванията при проектиране и изпитване на ПЖПС ТВ/Т1335-1996	В изпитанието не е включено сцепване на автосцепки.
		3	Твърдост	0324.26	Спецификация на натоварванията при проектиране и изпитване на ПЖПС ТВ/Т1335-1996	Изпитанието включва само неподвижен кош.
		4	Динамично натоварване	0324.26	Товарна рама за ПЖПС- Генерално ръководство за прилагане на натоварванията при методите за изпитване JIS (Стандарт за японската индустрия) Е 4207-2004 Идеен проект, конструиране и производство на товарни вагони ААР(Железопътна американска асоциация) М-1001-2007	
4	Инженерна структурна надеждност	1	Изпитване на надеждност	0301.18 и 0324.26	Стандарт GB50153-92 "Единен стандарт за проектиране на инженерна структурна надеждност"	

В посочения стандарт GB50153-92 "Единен стандарт за проектиране на инженерна структурна надеждност": Конструктивен метод базиран на теорията на вероятностите, чрез избор на парциални фактори [1]. Стохастичният анализ означава анализиране влиянието на входните параметри на модела и предполагаемата неопределеност в анализа.

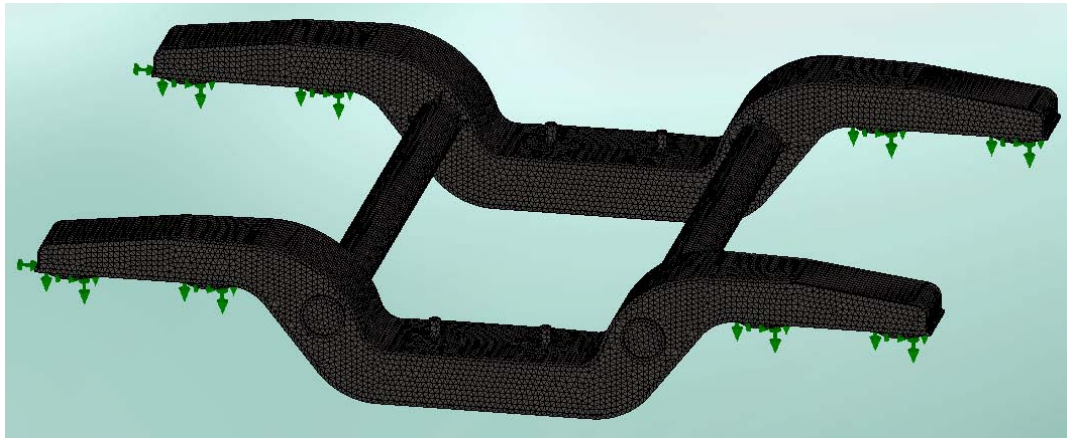
Monte Carlo метод може да реши проблема на получаване на структурна надеждност без пълен интеграл. За сложна структура, като рамата на талигата, трудно може да бъде дадена функцията на гранично състояние. В резултат използването на Monte Carlo метод в съчетание с метода на крайните елементи може да се получи

определяне на надеждността. Тази статия се основава на вероятностен анализ на функцията на надеждността на краен елемент чрез софтуерен пакет Solid Work Professional [2,3,4,5]. Създаването на модел на краен елемент на рамата на талига със случайни величини като: дебелината на листовия материал, характеристиките на материала, натоварването и в резултат изчисляване на надеждността и чувствителността на параметрите, това предлага нов начин за анализ на структурната надеждност на високоскоростен влак.

1. Модел за изчисляване талигова рама на надеждност и параметрична чувствителност

1.1. Моделиране на талигова рама с метода на крайните елементи

Предмет на изследване е талиговата рама на пътническа талига тип Т73-АД собственост на Българските Държавни Железници. Рамата на талигата е изпитвана на умора в Научно-изследователски технологичен институт гр. София, България [6, 7]



Фиг.1. Модел на талиговата рама като краен елемент.

За създаване на 3D модел в CAD система се използва програмен продукт Solid Work Professional. И може да стане краен елемент модел чрез омрежаване. Омрежаването е извършено, чрез различни стойности на тетраедрите. Приложени са съответни натоварвания и гранични условия. Направена е проверка за сходимост на мрежата. Чрез избор на елементи с размер 20 mm и толеранс 1 mm е получена сходимост. Общият брой на възлите е 466180, а броят на елементите е 313494. Талиговата рама като 3D модел краен елемент и опорите като гранични условия са показани на фиг.1. Възлите, които са от долната част на страниците опиращи се на буксовото ресорно окачване (БРО) са с пълно ограничение, с цел да симулират реалните гранични условия. В модела параметрически краен елемент на талиговата рама като променлива величина е използвано дебелината на листовия материал за определяне влиянието на изменението на дебелината върху надеждността на рамата.

1.2 Избор на случайни величини и определяне на разпределението на параметрите на талигова рама

Горната и долната повърхност на страничната греда, напречните греди и размерите на мрежата в дебелината на черупката са избрани като обекти на изследване и произволни променливи на талиговата рама. Предполага се, че дебелината на

черупките е с еднородно (uniform¹) разпределение. В таблица 2, са дадени разпределенията на параметрите на променливите, като за променливата „дебелина на черупките“ на горен и долен лист от страничната греда (страница) параметър 1 представлява долната граница на дебелината, а параметър 2 е горната граница на дебелината на черупката. Решено е допусковото поле на геометрията да е според допустимото допусково поле съобразно механичната обработка. Като параметри на изследване са избрани натоварванията: вертикалното натоварване от централното ресорно окачването (ЦРО), натоварване в страничната опора, натоварване от буксовото ресорно окачване (БРО) и натоварване от буксата. За разпределението на Gauss, параметър 1 означава средната стойност на разпределението на натоварването, а параметър 2 е средноквадратичното отклонение на разпределението на натоварването. Натоварването е съобразно изискванията на фиш на UIC615-4 [8]. Вертикалното натоварване в централното ресорно окачване и натоварването в страничните отбивачки са получени чрез математическа статистика на експлоатационни случаи на натоварване. За средните стойности на другите натоварвания са приети стойности получени по пътя на изчисление на резултатите, посочени в стандарта. Средноквадратичното отклонение е избрано като 1/10 част от средните стойности. В материалното изпълнение на талигата рама, уморната якост на изходния материал на талиговата рама, уморната якост на заваръчните шевове и модула на Young са избрани като случайни величини. И тези променливи са подчинени на разпределение по Gauss, като параметър 1 означава средната стойност на разпределението на товара, а параметър 2 означава, средноквадратичното отклонение на разпределението на товара. Материалът на талиговата рама е същият както регламентирания материал в стандарта JISE4207:2004 "Общи правила на конструиране на железопътно превозно средство - талига - талигова рама" [9]. Материала на талиговата рама е избран тип SMA490 [10], както е регламентиран в стандарта JISE4207:2004. Разглеждайки стандарта, съпротивлението на умора за материала на талиговата рама е **155MPa**, средната стойност на съпротивлението на умора за заваръчните шевове е **110MPa**, средната стойност на модула на Young е **210GPa** и средноквадратичното отклонение на материала е прието за **1/20** част от средната стойност. Тези стойности са показани в таблица 2.

Таблица 2. Произволни променливи от талиговата рама, тип на разпределението и параметри

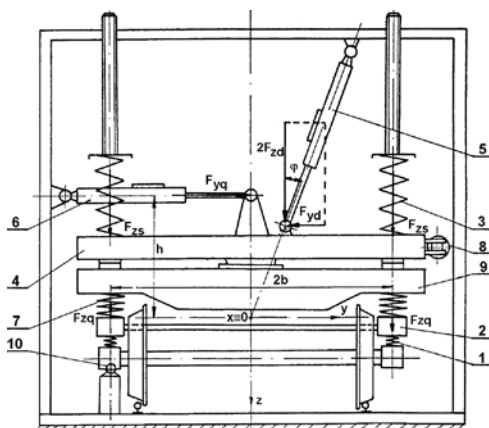
Име на променливите	Тип на разпределението	Параметър 1 (средна стойност)	Параметър 2 (средноквадратичното отклонение)
Дебелина на горен лист от страничната греда (страница) (mm)	Еднородно	11.5	12.5
Дебелина на напречна греда (mm)	Еднородно	11.5	12.5
Дебелина на долен лист от страничната греда (страница) (mm)	Еднородно	15.5	16.5
Мрежа на страничната греда 1 (mm)	Еднородно	11.5	12.5
Мрежа на страничната греда 2 (mm)	Еднородно	15.5	16.5
Натоварване от окачването 1(kN)	по Gauss	22	2.2
Натоварване от окачването 2(kN)	по Gauss	22	2.2
Натоварване в букса 1(kN)	по Gauss	40.95	4.095
Натоварване в букса 2(kN)	по Gauss	40.95	4.095
Натоварване в страничните отбивачки	Експоненциално	311.53	31.153

¹ Uniform – еднородно разпределение, всички стойности между минимума и максимума могат да се получат с еднаква вероятност. Това е непрекъснато разпределение с два параметъра – минимум и максимум.

Натоварване в комплект пружини от ЦРО (kN)	по Gauss	125	25
Натоварване в комплект пружини от букса (kN)	по Gauss	150	30
Допустимо напрежение на изходния материал (MPa)	по Gauss	155	7.75
Допустимо напрежение на заварената ивица (MPa)	по Gauss	92	4.6
Модул на еластичност (GPa)	по Gauss	210	10.5

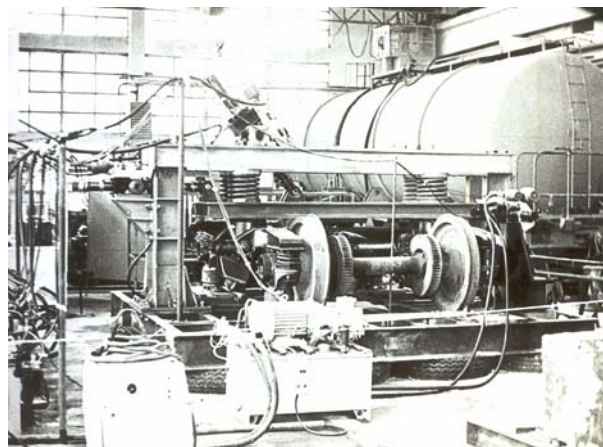
1.3 Функции на граничните състояния на талиговата рама

При конструиране на нов железопътен състав е необходимо изчисляването на умора по различни методики във вероятностен аспект [11, 12, 13] и провеждането на изпитвания на возилата и заварените възли със съответни стендове [14]. На фиг.2 е показана общата схема на стенд за изпитване на умора на рамата на пътническата талига Т73-АД, а на фиг.3. е общия вид на реализирания стенд в НИТИЖ- София с който е изпитвана на умора талиговата рама на същата талига.



Фиг. 2. Обща схема на стенд за изпитания

на умора на рама на талига Т73-АД
 1 – буксова пружина; 2 – рама-страница; 3 – натоварващи пружини за статично натоварване; 4 – натоварваща греда; 5 – наклонен сервоцилиндър; 6 и 8 – хоризонтални сервоцилиндри; 7 и 11 – пружини от централната ресорна степен на талигата; 9 – надресорна греда; 10 – повдигач.



фиг.3. Общ вид на стенд за динамични уморни изпитвания на пътнически талиги, намиращ се в НИИТ – София

Установяването на функцията на гранично състояние на талиговата рама е предпоставката за надеждност на рамата и чувствителността на анализа. В изследване на надеждността на талиговата рама и чувствителността на анализа, факторите влияещи на появата на повреда са произволните променливи като x_1, x_2, \dots, x_n , които са подчинени на определено разпределение. Така че функцията на гранично състояние на рамата на талигата може да бъде получена като:

$$(1) G(x_1, x_2, \dots, x_n) = [\sigma] - \sigma_{\max}$$

Тук $[\sigma]$ означава допустимото напрежение на уморна якост на талиговата рама. В тази статия, това е допустимото напрежение за изходния материал. Величината σ_{\max} означава изчисленото средно напрежение за талиговата рама.

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0 \text{ състоянието на талиговата рама - здрава.}$$

$$(2) G(x_1, x_2, \dots, x_n) < 0 \text{ състоянието на талиговата рама - негодна.}$$

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \text{ състоянието на талиговата рама - критично.}$$

2 Числено моделиране по метода на Monte Carlo

Метода Monte Carlo е произволен симулационен метод [2, 16]. Той се базира на теорията на вероятностите и математическата статистика, и е широко приложим за решаването на проблеми със случаен характер. Методът е лесно приложим. Методът е естествено въведен в теорията на надеждността, и се използва за изчисляване на вероятността от повреда. Предимството на метода Monte Carlo се явява скоростта на сходимост. При този метод, сложността на функцията на гранично състояние няма нищо общо с процеса на симулация. И няма нужда от линеализиране на функцията на гранично състояние и еквивалентно нормализиране на произволните променливи. Така този метод избягва математическите трудности в анализа на надеждността. Няма нужда да се разглежда нелинейната функция на изпълнение и сложността на кривата на гранично състояние. Така че това е най-пряк и точен метод и същевременно най-ефективният метод за анализ на надеждност главно на нелинейни проблеми. Той има способността за решаване на проблема директно.

В тази статия се създава параметричен модел на краен елемент на талигова рама и функцията на гранично състояние, и е направен стохастичен анализ с крайни елементи чрез вероятностната функция на система за проектиране със софтуера Solid Works Professional. Приложен е метод, който е комбинация от метода на Monte Carlo и метода на крайните елементи [17, 18, 19]. Този метод определя надеждността на рамата на талигата и чувствителността на параметрите. Прекият метод на Monte Carlo се базира на голям брой изчисления на краен елемент, така че броят на изчисленията е голям за големи структури, и приложението на прекият метод не е практично. В тази статия се приема Latin Hypercube Sampling метода на Monte Carlo, което анулира регулирането на дискретизацията. Latin Hypercube Sampling метода на Monte Carlo [20, 21] е една техника за намаляване на броя на симулациите и получаване на приемливи резултати. В този метод, диапазона на възможните стойности на всяка случайна входна променлива се разделя на слоеве, и големината на всеки слой е произволно избрана като представителна стойност. Представителните стойности за всяка произволна променлива, след това се обединяват така, че всяка представителна стойност се разглежда веднъж и само веднъж в симулационния процес. По този начин, всички възможни величини на произволните променливи са представени в моделирането. За набор от произволни променливи, като например x_1, x_2, \dots, x_n , ако те са взаимно свързани помежду си, те трябва да бъдат трансформирани в независими произволни променливи чрез Nataf трансформиране [18, 19].

3. Изчисляване надеждността на талиговата рама

3.1 Числено моделиране по метода на Monte Carlo за изчисляване на надеждността

Функцията на гранично състояние $G(x_1, x_2, \dots, x_n)$ на рамата на талигата, поради сложната си структура не може да се изрази чрез формула. Така че надеждността на талигата рама не може да бъде изчислена чрез математически интеграл. Прилагането на числено моделиране чрез метода на Monte Carlo за да се изчисли надеждността, функцията на вероятност за отказ може да се изрази като:

$$(3) P_f = \int_{\Omega} \dots \int_{\Omega} I[G(X)] f_x(X) dx_1 \dots dx_n$$

където $I[G(X)]$ е обозначена функцията, която може да бъде определена с израза:

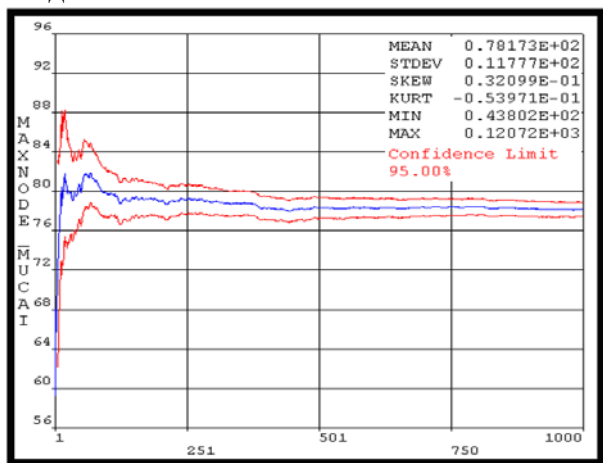
$$(4) I[G(X)] = \begin{cases} 1, & G(X) \leq 0 \\ 0, & G(X) > 0 \end{cases}$$

Първо, генерирани са променливи с плътност на разпределение в зависимост от допустимата вероятна област $f_x(x_1, x_2, \dots, x_n)$, за N произволни модели. На второ място, стойността на обозначената функция $\Pi[G(X)]$ може да бъде изчислена в съответствие с моделите. И накрая, вероятността за поява на отказ P_f може да бъде получена от израза $P_f \approx n/N$, където n е кумулативната стойност на обозначената функция.

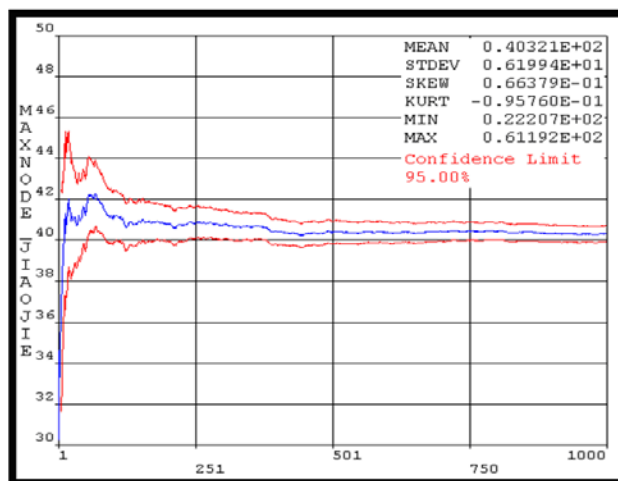
3.2 Вероятностен анализ на резултатите от талиговата рама

Детерминистичният анализ на рамата на талигата се извършва предварително за генериране на параметрични вероятностни файлове, и след това установяване типа на разпределението на входните променливи и разпределението на тяхните параметри. Модела Monte Carlo Latin hypercube е модела който се избира тук. Всичко 1000 модела са подложени на анализ. Дискретните номера могат да бъдат оценени с помощта на функцията на повреда на произволна дискретизация и направлението на дискретизиращите средства. На фиг.4 е показано, че 1000 дискретни числа от функцията на повреда за изходния материал и заваръчния шев са достатъчни. Примерна хистограма на плътността на функцията за поява на повреда на талиговата рама е показана на фиг. 5. Разпределението на надеждност на талиговата рама е показано на фиг.6.

Резултатите от моделирането показаха, че надеждността на талиговата рама е равна на **1**. Стойностите на параметрите на модела - изходен материал на рамата на талигата, са: средна стойност на напреженията (MEAN) **76.83MPa**; средноквадратично отклонение (STDEV) - **14.04MPa**; коефициент на асиметрия с отрицателна стойност (SKEW = **-0,0502**), което показва разпределение с дясно отклонение; коефициент на ексцес с отрицателна стойност (KURT = **-0,0602**), което показва разпределение на гладка пикова стойност.

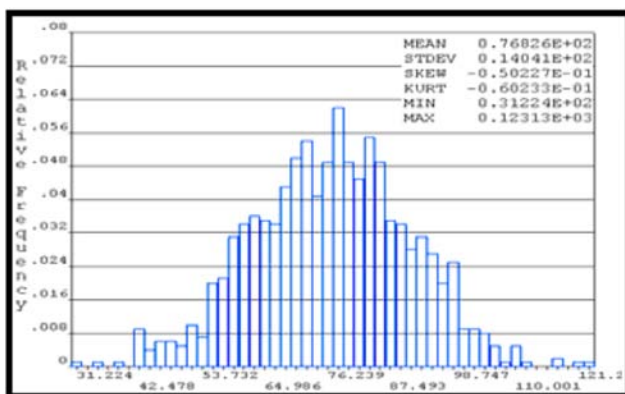


(а) изходен материал

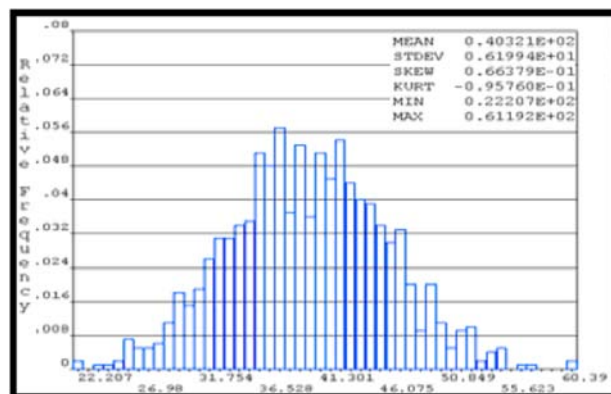


(б) заваръчен шев

Фиг.4. Средна стойност на отклонението на модела за определяне възможността за повреда на талиговата рама.

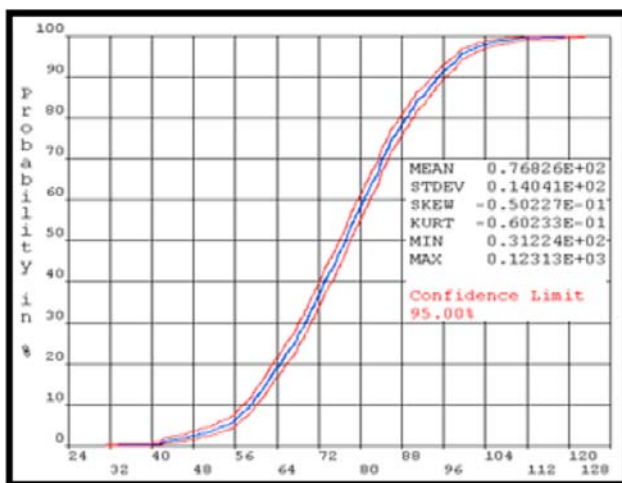


(а) изходен материал

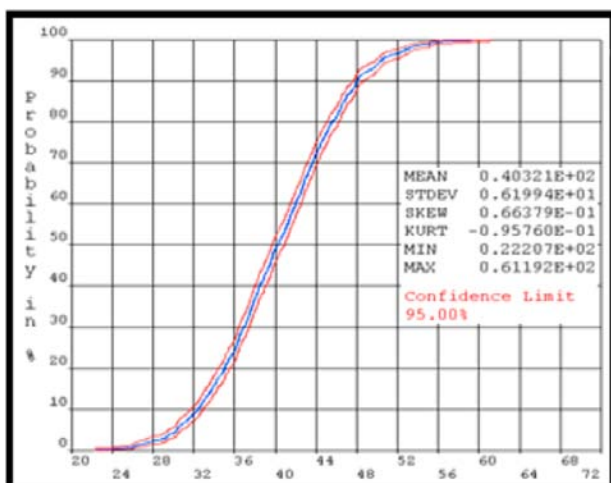


(б) заварка

Фиг.5. Примерна хистограма на плътността на функцията за поява на повреда на талиговата рама



(а) изходен материал



(б) заварка

Фиг. 6. Разпределение на надеждността на талиговата рама

Стойностите на параметрите на модела – заварка на талиговата рама, са: средна стойност на напреженията (MEAN) **40.32MPa**; средноквадратично отклонение (STDEV) - **6.20MPa**; коефициент на асиметрия с положителна стойност (SKEW = **0,0664**), което показва разпределение с ляво отклонение; коефициент на ексцес с отрицателна стойност (KURT = **-0,0958**), което показва разпределение на гладка пикова стойност.

Стохастичните резултати на параметрите на талиговата рама са дадени в таблица 3.

Таблица 3. Стохастични резултати на параметрите на талиговата рама

Наименование	Изходен материал	Заварка	Метод
Средна стойност (MEAN)	76.83	40.32	Monte Carlo Latin Hypercube Sampling Брой на моделите - 1000
Средноквадратично отклонение (STDEV)	14.04	6.20	
Коефициент на асиметрия (SKEW),	-5.02E-2	6.64E-2	
Коефициент на ексцес (KURT)	-6.02E-2	-9.58E-2	
Минимална стойност (MIN)	31.22	22.21	
Максимална стойност (MAX)	123.13	61.19	
Надеждност (R)	1.0	1.0	

ЗАБЕЛЕЖКА: Границата на доверителната вероятност е оценена с ниво на доверие от **95.000%**.

Показано е, че произволното разпределение на функцията на повреда зависи от типа на разпределението на случайните величини и от вероятностни резултатите. Предполага се че, случайните величини са подложени на еднородно и по Gauss разпределение, а опорните сили на страничните отбивачки са предмет на

експоненциално разпределение. Разпределението на дискретните резултати на произволните променливи е функция на разпределението на повреди, което е обект на разпределение по Gauss. Също така беше посочено, че разпределението на случайни величини имат значителен ефект върху резултатите. По такъв начин, вида разпределението и параметрите трябва да бъдат определени щателно въз основа на експерименти. Вероятността на талигата, показват, че умората якост има значителна допустима граница. Следователно, променливите могат да бъдат оптимизирани, за да се реализира олекотена талигова рама за предварително приета надеждност.

4 Надеждност и параметрична чувствителност

4.1 Метод за изчисляване

Надеждността се отнася до степента на надеждна способност на структурата. Това е вероятността на структурата, за да поддържа своите функции при определени условия, и по време на целия живот. За функцията на надеждност $P_f = 1 - P_f$, параметричката чувствителност се изчислява, както следва:

Допуска се че средните стойности и изменението на произволните променливи x_i са изразени като E_{xi} и S_{xi} . Градиентът на чувствителност на x_i към структурата на повредите се дефинира като:

$$(5) \left(\frac{\partial P_f}{\partial E_{xi}} E_{xi}^*, \frac{\partial P_f}{\partial S_{xi}} S_{xi}^* \right)$$

където E_{xi}^* и S_{xi}^* са с определени стойности.

Чувствителността на функция дефинирана в уравнение (5), се определя, както следва:

$$(6) S_x = \sqrt{\left(\frac{\partial P_f}{\partial E_{xi}} - E_{xi}^*\right)^2 + \left(\frac{\partial P_f}{\partial S_{xi}} - S_{xi}^*\right)^2}$$

След нормализиране, фактора на чувствителността на променливите x_i се изразява като:

$$(7) \lambda_i = (S_i / \sum_{k=1}^n S_k) \times 100\%$$

Ключът за изчисляване на λ_i е определяне градиента на чувствителността на случайната променлива x_i , като преди това трябва да се изчислят частните производни на P_f по E_{xi} и S_{xi} . P_f е неявна функция на средната стойност и изменението на променливите x_1, x_2, \dots, x_n .

Производната функция е извънредно сложна дори и за един прост проблем. По този начин, изложеният по-горе метод, основан върху градиента на чувствителността е подходящ само за ограничени проблеми. Ето защо, математическата обработка на производни функции е приета тук, за решаване на общите случаи.

Като цяло, (α_i, η_i) може да се изчислява приблизително по следния начин в съответствие с дефиниране на диференциала:

$$(8) \alpha_i = \frac{\partial P_f}{\partial E_{xi}} E_{xi}^* = \lim_{\Delta E_{xi} \rightarrow 0} \frac{\Delta P_{E_{xi}}}{\Delta E_{xi}} E_{xi}^* = \lim_{\Delta E_{xi} \rightarrow 0} \frac{P_{\Delta E_{xi}} - P_f}{\Delta E_{xi}} E_{xi}^*$$

$$\eta_i = \frac{\partial P_f}{\partial S_{xi}} S_{xi}^* = \lim_{\Delta S_{xi} \rightarrow 0} \frac{\Delta P_{S_{xi}}}{\Delta S_{xi}} S_{xi}^* = \lim_{\Delta S_{xi} \rightarrow 0} \frac{P_{\Delta S_{xi}} - P_f}{\Delta S_{xi}} S_{xi}^*$$

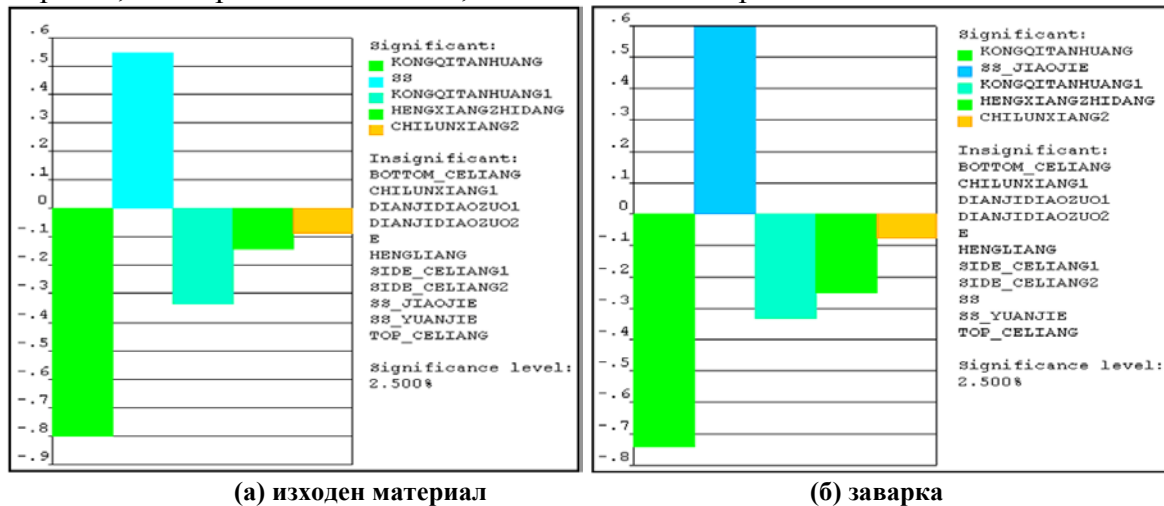
където, $P_{\Delta E_{xi}}$ е вероятността за повреда на структура, когато E_{xi} се заменя с $E_{xi} + \Delta E_{xi}$ и другите параметри са константи; P_f е вероятността за повреда на структурата, основана на средната стойност и дисперсия на параметрите. В резултат на това α_i и η_i могат да бъдат изчислени приблизително по следния начин:

$$(9) \alpha_i \approx \frac{P_{\Delta E_{xi}} - P_f}{\Delta E_{xi}} E^*_{xi}, \quad \eta_i \approx \frac{P_{\Delta S_{xi}} - P_f}{\Delta S_{xi}} S^*_{xi}$$

Крайната чувствителност S_i и фактора на чувствителност λ_i по отношение на всяка променлива могат да бъдат изчислени по горните уравнения.

4.2 Резултати от параметричната чувствителността на талиговата рама

Резултати от изчисленията са показани на фиг.7. Най-значимите променливи, които влияят на чувствителността на вероятността за изходния материал и шевове на заварките, са изброени в таблица 4, а незначителните променливи в таблица 5.



Фиг.7. Графика на чувствителността между всички произволни входни променливи и специфични произволни изходните параметри

Таблица.4. Произволни значими изходни променливи за произволен изходен параметър

Клас	Изходен материал			Заварка		
	Променлива	Чувствителност	Коефициент от общ. фактор на чувствителност	Променлива	Чувствителност	Коефициент от общ. фактор на чувствителност
1	Натоварване от окачването (ЦРО)	-0.801	41.95%	Натоварване от окачването (ЦРО)	-0.741	37.08%
2	Допустимо напрежение за изходния материал	0.544	28.48%	Допустимо напрежение за заваръчния шев	0.596	29.83%
3	Натоварване от окачването (БРО)	-0.335	17.54%	Натоварване от окачването (БРО)	-0.331	16.54%
4	Натоварване в страничната отбивачка	-0.141	7.36%	Натоварване в страничната отбивачка	-0.252	12.62%
5	Раменна сила	-0.009	4.67%	Раменна сила	-0.079	3.93%

Таблица 5. Произволни незначителни входни променливи за произволен изходен параметър

Клас	Променлива	Чувствителност при заваряване	Чувствителност на изходния материал
1	Долен покриващ лист на носещата греда (страница)	0.024	0.007
2	Надлъжно натоварване в букса	0.013	0.047
3	Надлъжно натоварване в буксово ресорно окачване	-0.029	-0.016
4	Надлъжно натоварване в централно ресорно окачване	0.013	0.047
5	Модул на еластичност E	-0.007	-0.031
6	Широчина на напречна греда	0.037	0.029
7	Широчина на надлъжна греда (страница)	0.039	0.019
8	Дебелина на напречна греда (свързваща тръба)	-0.039	0.019
9	Горен покриващ лист на носещата греда (страница)	7.26E-4	-3.80E-3

Променливите влияещи с различна чувствителност на вероятността за умора на изходния материал са някои натоварвания в опори и допустими напрежения на умора на материала. Например, чувствителността на натоварване от окачването (ЦРО) е **41.95** % от общата факторна чувствителност, докато тази на допустимо напрежение за изходния материал е **28.48** % от общата факторна чувствителност. Аналогично, влиянието на някои специални натоварвания и допустими напрежения на умора за заваръчния шев са значителни. От изследваните променливи фактори, чувствителността на натоварване от окачването (ЦРО) е **37,08%** от общата факторна чувствителност, докато тази на допустимо напрежение за заваръчния шев е **29,83%** от общата факторна чувствителност. Дебелината на листовия материал и локалните промени на натоварванията имат по-малко влияние на вероятността за умора на талиговата рама. Следователно, дебелината на листовия материал може да бъде оптимизирана в периода на проектиране.

За да се гарантира вероятността за безотказна работа на рамата на талигата под действието на значимото влияние на показатели, като: промяна на изходния материал и силата пораждаща умора на заваръчния шев, трябва да бъдат подобри избора на материала и контрола на заварките. Също е необходимо взимането под внимание влиянието на натоварванията в ресорното окачване, страничните отбивачки и раменната сила.

5. Заключение

Параметричният модел крайни елементи на талигова рама е базиран, въз основа на числен симулационен метод на Monte Carlo. Взимайки дебелината на листовия материал, параметрите на материала и действащото натоварване като произволни случайни величини и приемайки вида и параметрите на разпределение на функциите на състоянието повреда, са определени големината на допустимата стойност на натоварването за умора и максималното допустимо напрежение за изходния материал или местоположението на заварка от рамата на талигата. Надеждността и параметричната чувствителност на талиговата рама са анализирани с помощта на хибридна симулация на Monte Carlo и FEM анализ със Solid Work Professional. Заключениета са, както следва:

(1) Разглежданият по-горе случай на талигова рама показва, че е възможно да се използва метод на Monte Carlo за анализирани стохастичната и параметричната чувствителност на сложни структури с много променливи, които нямат явни функции на повреди.

(2) За определяне типа на разпределението и параметрите на случайните променливи на вероятностния и параметричен анализ на чувствителността е нужно провеждането на значителен брой експерименти. Параметъра на разпределението на товара е приет от статистическа обработка, съгласно UIC стандарт [22], разпределението на други параметри са прети съгласно данни от практиката. Ето защо, точността на резултатите в горния случай не е гарантирана.

(3) Въз основа на резултатите от анализа, случайните променливи, които са чувствителност към надеждността на талиговата рама ще бъдат контролирани и оптимизирани на практика, така че да се избегнат излишни дейности по пректирането. За да се гарантира вероятността за безотказна работа на талиговата рама под натоварване, е необходимо да се подобри структурата на материала и процеса на заварка за увеличаване на допустимото съпротивление на умора, както и влиянието на натоварванията в централния лагер, плъзгалките и отбивачките.

(4) Методът на проектиране във вероятностен аспект, валиден за традиционното проектиране се основава на определяне на велчини за нова оценка на надеждността и параметричната чувствителност на носещата структура на високоскоростни влакове.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The standard GB50153-92 the uniform standard for designing of engineering structure reliability.
- [2] Hadjiiski C., S. Stefanov., Computer engineers analysis of machine elements with COSMOSWorks, Plovdiv, 2007
- [3] Howard W., Musto J., Introduction to Solid Modeling Using SolidWorksp 2009
- [4] David C., Engineering Design With Solidworksp 2006
- [5] Karavassilev O. V. Nedyalkov, A. Nanchev, M. Kozhuharov, A. Sapundjieva, SolidWorks - Advanced: Textbook/Sofia: TechnoLogica Ltd., 2008
- [6] Stefan Reh, Jean-Daniel Beley, Siddhartha Mukherjee, Eng Hui Khor. Probabilistic finite element analysis using SOLID WORK . Structural Safety: 28 (2006): 17-43
- [7] Wang Wei, Xie Yujun. Reliability Analysis on the Head of Blind Plate Based on Solid Work , Petro-Chemical Equipment Technology, 2007, 28(2): 9-10.
- [8] Feng Zhen, Yu Tao, Guo Pei-Yan, Liang Dong. Probabilistic Design of Cylinder Using SOLID WORK /PDS, Coal Mine Machinery, 2006, 27 (11): 21-23.
- [9] Zhang Sheng-min. Structure analysis based on SOLID WORK . Beijing: Tsinghua University press, 2003
- [10] Penchev C., Atmadzhova D., Stands vibration fatigue test frame and beam new passenger bogie T73-AD. Yearbook of the Institute for the operation of railways, No 29, Sofia, 1991
- [11] Penchev C., Atmadzhova D., Creating and putting into action of NITIZHT vibrostend test fatigue of travel bogies. Yearbook of the Institute for the operation of railways, № 29, Sofia, 1991
- [12] Yang Bo, Zhu Ping, Yu Haidong, Han Xu. Auto-body NVH Structure Sensitivity Analysis Based on Modal Analysis Method, Mechanical Engineering, 2008, 19 (3): 361-364.
- [13] He Hongni, Lu Zhenzhou. Variance Analysis of Line Sampling-based Reliability Sensitivity, Mechanical Engineering, 2007, 28 (2):9-10.
- [14] Wu Zhang, Zhangxin Chen, Craig C. Douglas, Weiqin Tong High Performance Computing and Applications: Second International Conference HPCA 2009, S., China, August 2009
- [15] Atmadzhova D., Some data for calculation of fatigue in probabilistic aspect of railway vehicles. XIV Conference RAILCON'10 takes place in Niš, Serbia, at the Faculty of Mechanical Engineering on 07 – 08 October, 2010
- [16] Pentchev, C., D. Atmadzhova Strength and durability of road and rail machinery, S. 2007
- [17] Atmadzhova D., Tasheva E., Research fatigue strength of welded assembly's railway wagon. Electronic journal "Mechanics Transportation Communications" issue 2, 2011
- [18] Tasheva E., Atmadzhova D. Analysis of options for assessing the resistance of steels with increased strength to the formation of cold cracks. Electronic journal "Mechanics Transportation Communications" issue 2, 2011
- [19] Tasheva E., Atmadzhova D. Method and device for assessing susceptibility to the formation of cold cracks in the welding of corner joints of sheets Electronic journal "Mechanics Transportation Communications" issue 2, 2011
- [20] Zhang Wei. Structure Reliability Theory and Application. Beijing: Science Press, 2008
- [21] E. B. Haug. Mechanical probability design Beijing: Machine press, 1985.
- [22] UIC 615-4 code, Motive power units – Bogies and running axle- –Bogie frame structure strength tests [S]. International Union of Railways, 2003