

АНАЛИЗ НА ОТКАЗИТЕ ПО ХОДОВАТА ЧАСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЛОКОМОТИВИ СЕРИЯ 46.000

Милен Милков Михалев

milenmail@abv.bg

**ВТУ „Т. Каблешков”, София, ул. Гео Милев 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: локомотиви, ходова част, откази.

Резюме: Изследването е проведено въз основа на статистически данни, получени от доклади, направени при ремонт или монтаж на нови елементи в талигите на електрически локомотиви серия 46. Резултатите от изследването позволяват откриване на компоненти на талигите с най-ниска надеждност. Определени са показателите на надеждност на основни елементи от ходовата част на електрически локомотиви серия 46. Това може да помогне за управление на персонала, който отговаря за поддръжката и ремонта и да се вземат правилни решения, за да се подобри надеждността и увеличаване на ефективността на работа на тези превозни средства.

1. Увод

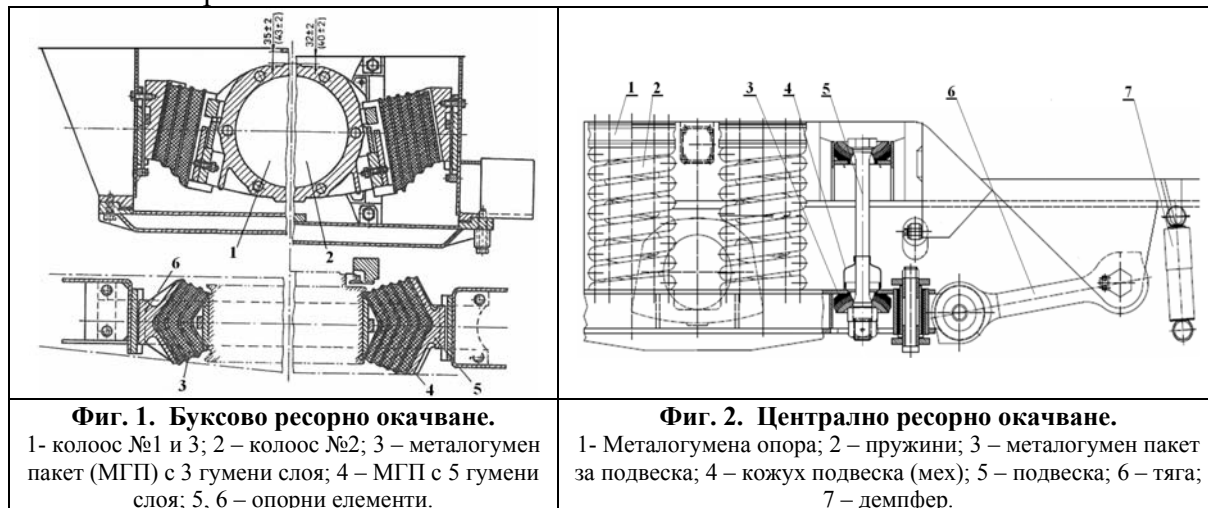
Локомотивите серия 46 на БДЖ са производство на завод “Elektroputere” – Стаюва, Румъния, построени по лиценз на шведската фирма “ASEA”. Доставкаите у нас са започнали през 1986-та година. Доставени са общо 45 броя, като всички са зачислени към депо Бургас и до днес основно обслужват тежки товарни влакове в участъците Бургас – Карлово – София, Бургас – Пловдив и Бургас – Г. Оряховица, както и някои бързи и експресни влакове между София и Бургас.

С експлоатацията на локомотивите от серия 46 възникнаха някои проблеми, което налага тяхната модернизация. Локомотив 46.019.6 през 1998 г. след модернизация получава подсерия 200 (съответно 46.219.2). Понастоящем в експлоатация се намират общо 11 локомотива.

Локомотивът серия 46 има две триосни талиги, които са свързани чрез напречен еластичен съединител, окачен към свързващите конзоли на челните вътрешни греди на рамите на талигите. Талигата има двустепенно ресорно окачване. Тяговите двигатели са окачени опорно-раменно към рамата на талигата в три точки. Колоосният редуктор е окачен опорно-осово. Въртящият момент на тяговият двигател се предава чрез зъбен съединител, торсионен вал, еластичен съединител и колоосния редуктор на колооста. Торсионният вал е разположен в кух вал на тяговия двигател. Предаването на теглителните и спирачните сили между талигата и коша се осъществява чрез тягов прът. На всяка талига има по два пръта (тяга) за свързване с коша.

Буксовото ресорно окачване (БРО) (фиг.1) е изпълнено с металогумени пакети. Металогумените пакети на колооси с №№ 1 и 3 са 3-слойни, а на колоос с № 2 са 5-слойни.

В централното ресорно окачване (ЦРО) (фиг. 2) се използват за еластични елементи двуредни винтови пружини. Пружините лягат на оформени опори на подресорната надлъжна гредка. Горният край на пружините опира чрез опорен диск в металогумена шайба на надлъжната гредка на коша. За фиксиране на шайбата върху гредката са заварени конуси. Дискът има ексцентричен отвор и чрез неговото завъртане се измества странично кошът на локомотива.



Фиг. 1. Буксово ресорно окачване.
1- колоос №1 и 3; 2 – колоос №2; 3 – металогумен пакет (МПП) с 3 гумени слоя; 4 – МПП с 5 гумени слоя; 5, 6 – опорни елементи.

Фиг. 2. Централно ресорно окачване.
1- Металогумена опора; 2 – пружини; 3 – металогумен пакет за подвеска; 4 – кожух подвеска (мех); 5 – подвеска; 6 – тяга; 7 – демпфер.

Гредите са окачени към конзоли на рамата на талигата чрез подвески, изковани от хром-никелова-стомана. Между главата на подвеската и конзолата е поставен полусферичен сайлент блок. В подресорната гредка са оформени кутии, в които се намират полусферични сайлентблокове и гайки навити на долния край на подвеските. Гайката се осигурява срещу саморазвиване с шплент. От замърсяване гайките и сайлентблоковете се защитават чрез предпазител – кожух (мех).

2. Експлоатационни наблюдения на повреди и ремонти на ел. локомотиви 46-00

В периода 01.01.2013 година до 31.12.2014 година са ремонтирани следните електрически локомотиви: **46.205.1; 46.208.5; 46.211.9; 46.219.2; 46.221.8; 46.229.1; 46.231.7; 46.234.1; 46.235.8; 46.242.4 и 46.243.2.**

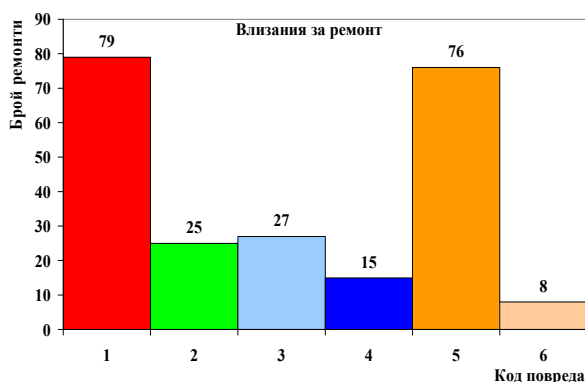
Наблюдаваните повреди са кодирани от 1 до 6 (Код повреда: 1 - ходова част; 2 - покривно оборудване; 3 - пневматично оборудване; 4 – електродвигатели; 5 - ел. апарати; 6 – кош). Влизанията за ремонт в депо на съответните номера локомотиви са показани в таблица 1. На фиг. 3, 4 и 5 са отразени съответно броя ремонти по електрическите локомотиви, броя на повредите по съответните номера локомотиви и процента на повредите по ходовата част. На фиг.6 е показан броят повреди в колоосен редуктор на ел.локомотиви серия 46.

Таблица 1. Ремонтирани локомотиви и брой повреди.

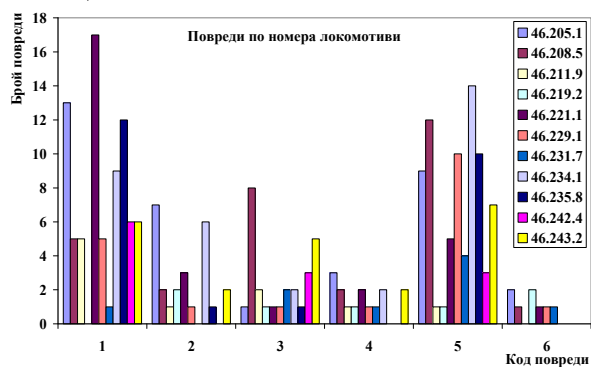
Код повреда	Електрически локомотиви серия 46											Общо за повреда
	46.205.1	46.208.5	46.211.9	46.219.2	46.221.1	46.229.1	46.231.7	46.234.1	46.235.8	46.242.4	46.243.2	
1	13	5	5	0	17	5	1	9	12	6	6	79
2	7	2	1	2	3	1	0	6	1	0	2	25
3	1	8	2	1	1	1	2	2	1	3	5	27
4	3	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	15
5	9	12	1	1	5	10	4	14	10	3	7	76
6	2	1	0	2	1	1	1	0	0	0	0	8
Общо за локомотиви	35	30	10	7	29	19	9	33	24	12	22	230

От статистическите данни за ремонт на ел. локомотиви серия 46 се установява, че ремонтите по ходовата част са 34,35%, покривно оборудване – 10,87%; пневматично оборудване – 11,74%; електродвигатели – 6,52%; ел. апарати – 33,04% и кош – 3,48%. Най-голям брой повреди по ходовата част се наблюдават при локомотиви с номера 46.205.1, 46.221.1 и 46.235.8.

От настоящите наблюдения и построената Парето диаграма за повредите по електрическите локомотиви собственост на БДЖ в [1] се установява необходимостта от якостно-деформационния анализ на зъбните колела от колоосен редуктор и определяне вероятността за безотказна работа на елементи от ЦРО и БРО.

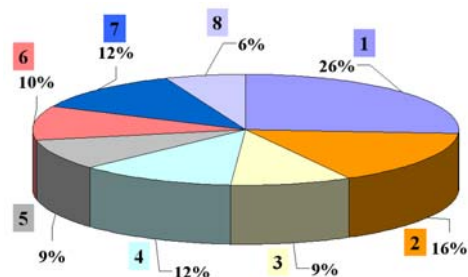


Фиг. 3 Брой ремонти на ел. локомотиви серия 46.



Фиг. 4 Брой повреди на локомотиви по кодове.

Код: 1 - ходова част; 2 - покривно оборудване; 3 - пневматично оборудване; 4 – електродвигатели; 5 - ел. апарати; 6 – кош.



1 - редуктори; 2 – елементи от БРО; 3 - подвески; 4 - тягав двигател; 5 - колооси; 6 - букси; 7 - демпфер; 8 – елементи от ЦРО.

Фиг.5 Процент повреди по ходова част (код 1).

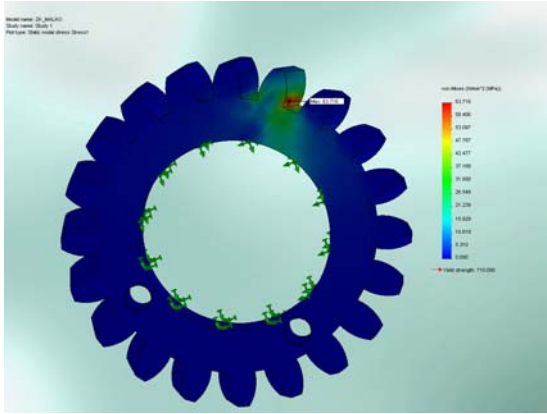


1 – зъбни колела; 2 – задвижващи валове; 3 – съединители; 4 – втулки; 5 – болтове, корпуси и др.

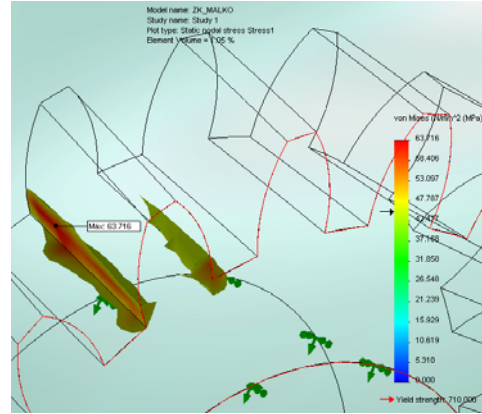
Фиг.6 Брой повреди в колоосен редуктор.

3. Якостно-деформационен анализ на зъбни колела от колоосен редуктор на ел. локомотиви серия 46

Зъбните колела от колоосния редуктор са изработени от материал Alloy Structural Steel ($R_m = 355 \text{ MPa}$). При моделиране чрез програмния продукт Solid Works 2010 използвам стомана за зъбните колела - AISI 1020 Steel (Yield strength 351,57 MPa). Натоварването се прилага в зъба на съответното колело и е със сили: тангенциална $F_t = 13938 \text{ N}$; аксиална $F_a = 3307 \text{ N}$ и радиална $F_r = 5214 \text{ N}$. Запъването на малкото зъбно колело (МЗК) е в зоната на лагеруването на вала, а на голямото зъбно колело - в монтажните отвори.



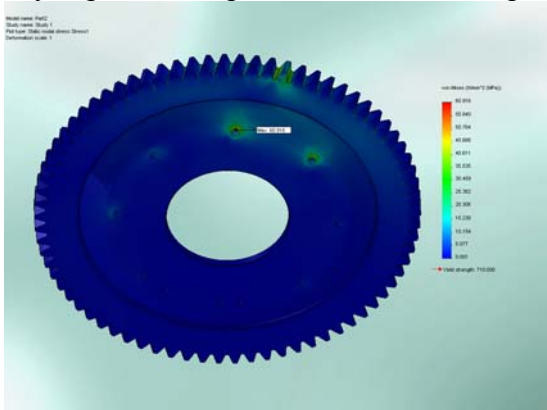
Фиг. 7 Разпределение на напреженията по МЗК.



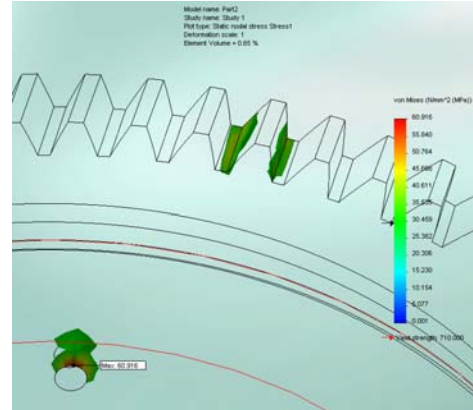
Фиг. 8 Области в МЗК с напрежения над 45 МПа.

Максималните напрежения по von Mises Stress за МЗК са 63.7 МПа (фиг.7 и 8), а за ГЗК са 60.9165 МПа (фиг.9 и 10). Коэффициента на относително удължение за МЗК е $2,52 \cdot 10^{-4}$, а за ГЗК - $1,834 \cdot 10^{-4}$.

Якостно-деформационното състояние на изследваните зъбни колела се установява, че е в желаните допустими стойности. Необходимо е наблюдения за откази от умора на материала, износване и др. повреди.



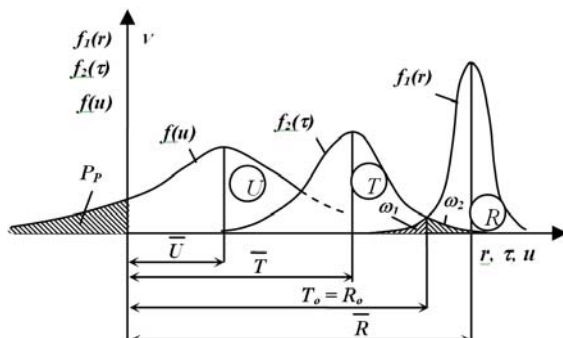
Фиг. 9 Разпределение на напреженията по ГЗК.



Фиг. 10 Области в ГЗК с напрежения над 30 МПа.

4. Определяне вероятността за безотказна работа на елементи от ЦРО и БРО на ел.локомотиви серия 46

Развитието на вероятностните методи за изчисляване на уморна якост през последните десетилетия се основава главно на постиженията в теорията на надеждността на механични системи. Същността на тези методи се свежда до съпоставяне между якостните характеристики на материала (т.е. носимоспособността или съпротивляемостта срещу разрушаване), означени обобщено с R и характеристиките на експлоатационните натоварвания, означени с T . Като функции на случайни величини, $R(\sigma_{-1}, \sigma_{-1D}, \sigma_S, \sigma_B \dots)$ и $T(\sigma_{eqv}, \sigma_m, \sigma_a, \sigma_{max} \dots)$ също имат случаен характер, определен от техните закони за разпределение и числови характеристики (фиг.11).



Фиг. 11 Плътност на разпределение $f_1(r)$, $f_2(\tau)$ и $f(u)$ на случайните величини: носимоспособност R , натоварване T и “функция за неразрушимост” U [2].

А. Р. Ржаницин е разработил метод за изчисляване във вероятностен аспект, като въвежда

понятието “функция за неразрушимост” U , представляваща случайна величина, изразена с:

$$(1) \quad U = R - T$$

Предполага се, че R и T са независими една от друга случайни величини, за които съответните плътности на разпределение $f_1(r)$ и $f_2(\tau)$ са известни. Плътността на разпределение $f(u)$ на величината (функция за неразрушимост) U се получава от $f_1(r)$ и $f_2(\tau)$ като композиция от тях, което се записва символично с използване на знака “*”:

$$(2) \quad f(u) = f_1(r) * f_2(\tau)$$

а) Определяне вероятността за безотказна работа на пружини от ЦРО

За определяне уморната якост на цилиндрични винтови пружини от ресорното окачване на железопътни транспортни средства ще използваме критерият за неразрушимост по Ржаницин, определен чрез вероятността за безотказна работа:

$$(3) \quad P_k(\tau_{lim} > \tau_k) = R_k$$

където: τ_{lim} - границата на якостта на умора на материала при определен режим на натоварване; τ_k - максималното тангенциално напрежение на пружините; R_k - вероятността за безотказна работа на пружина при определено натоварване (k), изразяваща вероятността със стойност R_k така, че да бъде изпълнено условието ($\tau_{lim} > \tau_k$).

Критерият за неразрушимост по Ржаницин, се определя по следния израз:

$$(4) \quad R_k = 0,5 + \Phi \left[(1 - \bar{p}) \cdot (\bar{n} \cdot v_{\tau_{lim}}^2 + v_{\tau_k}^2)^{-1/2} \right]$$

където в стандартизираната функция на Лаплас - Φ фигурират средния коефициент на сигурност \bar{p} и коефициентите на вариации $v_{\tau_{lim}}$ и v_{τ_k} :

Материала от който са изработени пружините е със следните параметри: $\bar{\sigma}_B = 1373 \text{ MPa}$; $\bar{\tau}_B = 823,8 \text{ MPa}$, съответните средно квадратично отклонение $S\sigma_B = 45,3 \text{ MPa}$; $S\tau_B = 41,2 \text{ MPa}$ и коефициента на вариация $v_{\tau_B} = 0,05$.

Стойностите на натоварванията (статична и динамична сили), параметрите на цикъла (амплитудна и средна стойност на натоварването), геометричните параметри и вероятността за безотказна работа са посочени в таблица 2.

Таблица 2 Натоварвания, параметри и определяни величини.

Тип пружина	Натоварване, kN	Параметри на цикъла, kN	Геометрични параметри, mm	Коефициент на сигурност	Вероятност
Външна	$P_{ст} = 35,912$; $P_d = 10,774$	$P_a = 5,387$; $P_m = 17,956$	$\bar{D} = 277$; $\Delta \bar{D} = 2,5$; $v_D = 0$	$\bar{p} = 4,57$	$R_k = 1,095$
Вътрешна	$P_{ст} = 18,090$; $P_d = 5,427$	$P_a = 2,713$; $P_m = 9,045$	$\bar{d} = 35$; $\Delta \bar{d} = 0$; $v_d = 0$	$\bar{p} = 4,31$	$R_k = 1,105$

Въпреки, че за коефициентите на сигурност за двете пружини са получени високи стойности вероятността за безотказна работа е ниска. Регламентираната минимална стойност на вероятността за безотказна работа за цилиндрични винтови пружини от железопътна техника е 1,2 [2]. Необходимо е избор на нови пружини, или допълнително уякчаване на повърхностния слой на пружините чрез дробеструен наклеп.

б) Жизнен цикъл на МГП от БРО

Необходимият жизнен цикъл на МГП от БРО на електрически локомотиви (собственост на БДЖ) в етапа на проектиране е приет за $1,5 \cdot 10^6$ цикъла, но в експлоатация се постига само $0,8 \cdot 10^6$ цикъла [3]. Вероятното обяснение е свързано с умора на материала и наличието на остатъчни напрежения във V-образните метални пластини [4, 5, 6].

Други изследвания [7,8] представят опит, направен въз основа на ефективен триизмерен анализ на напрегнатото и деформирано състояние на метални пластини и гумени пластове, за да се предскаже времето на поява на пукнатини от умора и разкъсване на гумените слоеве.

Въз основа на кривата на умора [9, 10], жизненият цикъл на 3- слоен МГП е около $0,6 \cdot 10^6$ цикъла и на 5 слоя МГП е около $0,8 \cdot 10^6$ цикъла. Тези резултати доказват недостатъчната уморна якост. От гледна точка на конструирането, важно е да се оптимизира профила и материала на гумата, за да се осигури максимално опирание в металните листове, и в същото време да отговарят на минималните изисквания на процеса за производство и съответно да притежава желаната уморна якост и дълготрайност.

5. Заключение

В резултат на извършени експлоатационни наблюдения на ел. локомотиви серия 46 се установява, че ремонтите по ходовата част са 34,35% от всички ремонти. Установени са процента повреди по ходовата част на тези локомотиви. Най-голям брой повреди по ходовата част се наблюдават при локомотиви с номера 46.205.1, 46.221.1 и 46.235.8. Резултатите от изследването позволяват откриване на компоненти на талигите с най-ниска надеждност. Обосновава се необходимостта от якостно-деформационния анализ на зъбните колела от колоосен редуктор и определяне вероятността за безотказна работа на елементи от ЦРО и жизнен цикъл на МГП от БРО. Определена е стойността на вероятността за безотказна работа на цилиндричните винтови пружини от ЦРО по критерия на Ржаницин, която е 1.1 и тя е по-ниска от регламентираната минимална стойност – 1.2.

Препоръчва се:

- наблюдения за откази от умора на материала, износване и др. повреди в зъбните двойки от колоосните редуктори при всяко влизане за ремонт на локомотивите;
- избор на нови пружини за ЦРО, или допълнително уякчаване на повърхностния слой на пружините чрез дробеструен наклеп;
- оптимизиране профила и материала на гумата на МГП от БРО, за да се осигури максимално опирание на гумата постигане на желаната уморна якост и дълготрайност

Резултатите от изследванията и направените препоръки могат да помогнат на персонала, отговарящ за поддръжката и ремонта за вземане на правилни решения, за подобряване надеждността и увеличаване на ефективността на работа на тези превозни средства.

Литература

- [1] Atmadzhova D., M. Mihalev, Analysis of the reliability of bogie electric locomotives, International Symposium SRMA 2014, Kraljevo, Serbia, 2014, pp.116-119
- [2] 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
- [3] Atmadzhova D., Nenov N., Study on fatigue of Rubber metal springs of primary spring suspension of electric locomotives, Journal FACTA UNIVERSITATIS SERIES MECHANICAL ENGINEERING, Vol.10, No 1, 2012 pp. 63 – 70
- [4] Luo RK, Wu WX. Fatigue failure analysis of chevron rubber spring. Eng Fail Anal 2006;13(1):110–6.
- [5] Wu X. P., Spinks A. D., Mortel W. J., and Luo R. K. Fatigue design and test on Chevron rubber springs used in rail vehicles, Constitutive Models for Rubber VI CRC Press 2009

Pages 249–254

- [6] Атнаджова Д. Метод за оценка експлоатационния живот на гумени елементи в подвижен железопътен състав. София, Електронно списание “Механика Транспорт Комуникации“ бр.2, 2008 г. статия № 0225 BG-2.9 BG-2.14
- [7] D. Stamenković, M. Milošević, I. Petrov, M. Banić Development and validation of electric locomotives primary suspension rubbermetal elements, XIV Naučno-stručna konferencija o železnici "ŽELKON '10", str. 79-82, Niš, 2010
- [8] Atmadzhova D., Mihaylov E., Elastic rubber elements as component parts of resilient wheels for light-rail transportation, XV Conference RAILCON'12 Niš, Serbia, at the Faculty of Mechanical Engineering October, 2012, pp.37-40
- [9] BS7608. Code of practice for fatigue design and assessment of steel structures. UK; 1993.
- [10] EN 1993-1-9 Eurokod 3: Cast 1-9:Fatigue., 2006

FAILURE ANALYSIS IN ELECTRIC LOCOMOTIVES BOGIE OF SERIES 46.000

Milen Milkov Mihalev
milenmail@abv.bg

University of Transport Todor Kableshkov, Sofia, 158 Geo Milev Str.
BULGARIA

Key words: *electric locomotives, bogies, failures.*

Abstract: *The study was conducted based on statistical data obtained from reports made to repair or installation of new elements in bogies of electric locomotives series 46. The survey results allow detection of components of the bogie with the lowest reliability. Defined indicators of reliability are essential elements of the bogie of electric locomotives series 46. This can help management personnel responsible for the maintenance and repair to make the right decisions to improve the reliability and efficiency of operation these vehicles.*