

## ИЗСЛЕДВАНЕ НАДЕЖДНОСТТА НА ТАЛИГИ ОТ МЕТРОВАГОНИ

Добринка Атнаджова  
[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

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

***Ключови думи:** надеждност, метровагони, талиги, интензивност на откази, отказ.*

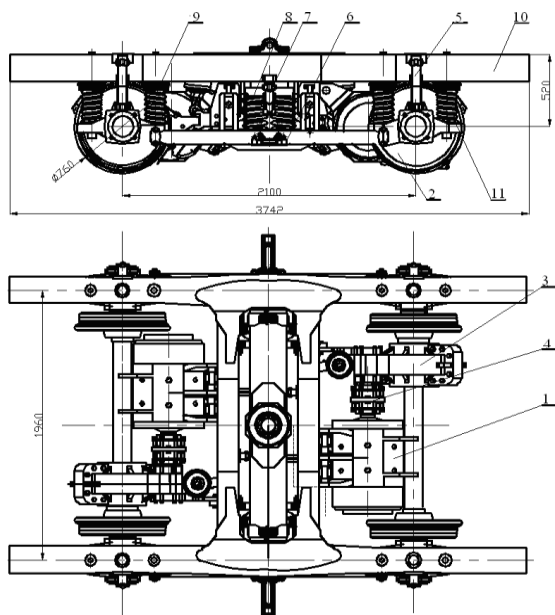
***Резюме:** Надеждността на машините и системите зависи от надеждността на елементите, влизащи в тях, от нивото на проектно-конструкторските работи, от качеството на изработка, от условията на експлоатация и др. Повечето от факторите, определящи надеждността на талигите за метровагони имат случаен характер (натоварване, гранично състояние и т.н.). Основният метод за изследване на надеждността е статистическият метод, а основното средство се явява теорията на вероятностите. В статията е направен анализ на надеждността на талиги за метровагони. За определяне на точните показатели на надеждност като интензивност и честота на отказите, както и математическото очакване е проведено изследване на елементи от конструкции на талиги за метровагони, експлоатирани в гр. София. Наблюдавани са конструкции талиги за метровагони тип 81-717/81-714; 81-717.4/81-714.4 и 81-740.2/741.2 „Русич“, експлоатирани на територията на България и Русия, които за този период са изминали общ пробег от около 2-3 милиона километра. За определяне на закона за разпределение на отработката до отказ данните на настъпване на първите откази за елементите на талигите за метровагони са обработени със софтуерен продукт. Построени са графики по статистически модел и са определени показателите на надеждност. Определен е вида на закона на разпределение на отработка до отказ за талиги на метровагони.*

### 1. УВОД

Първите метро състави, обслужващи Софийското метро са закупени от Столична община за нуждите на Метрополитен София от завод „Метровагонмаш”, гр. Митищи, Русия още през 1990 г.[1,2,3,4] Общо 48 метровагона тип 81-717.4/81-714.4, свързани в 4-вагонни композиции, представляват първото поколение подвижен състав в Софийското метро, с талиги показани на фиг.1. По време на експлоатационния им живот е предвидена модернизация през 2019 г.[5]. През м. май 2019 г. се пристъпва към поэтапен капитален ремонт с модернизация [6,7]. Първите два влака вече се намират в завода-производител.

Метровагоните тип 81-740.2/81-740.2Б за влаковете „Русич“ са второто поколение подвижен състав, експлоатиран в Софийския метрополитен. Моделът „Русич“ представлява доразвит вариант на метровагони тип 81-720, 81-721 и модификации („Яуза“). След производството на определено количество опитно-

промишлени състави, моделът „Яуза“ е снет от производство и повече не се произвежда. Доставката и експлоатацията на влакове тип „Русич“ започва от 2005 г. с доставяне на първия опитен състав от модификацията 81 – 740.2/741.2, с талиги показани на фиг. 2. До 2009 г. са доставени още 8 влака, а през 2010 г. още 3 влака, но от доразработената модификация 81 – 740.4/741.4 (експлоатирана в Московското метро и Казанското метро), която за нуждите на Софийското метро получава индекс 2Б. През 2012 г. се доставят още 18 влака от модификация 81 – 740.2Б/741.2Б за нуждите на първи и втори метродиаметър. През 2013 г. във връзка с разширението на първи метродиаметър се произвеждат още 10 влака от типа 81 – 740.2Б/741.2Б. Към началото на ноември [6] поръчката е финализирана.



1- електродвигател; 2- колоос; 3- редуктор; 4- съединител; 5- буксов демпфер; 6- подресорна греда; 7- централен демпфер; 8- централно ресорно окачване; 9- буксово ресорно окачване; 10- рама; 11- букса.

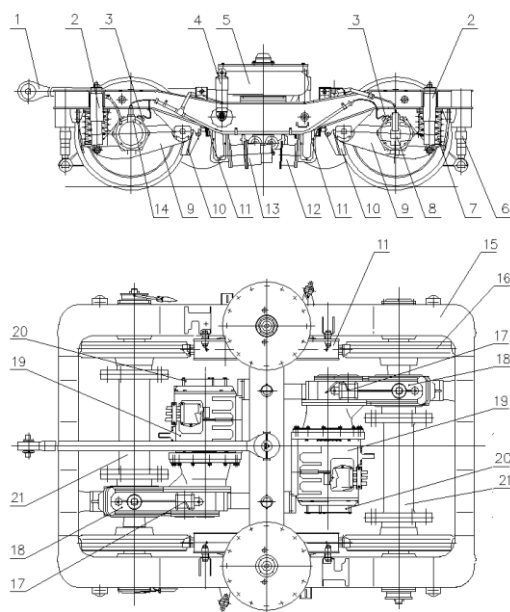
**Фиг. 1.** Талига на метровагони серия 81-717.4 и 81-714.4.

За изграждания трети метродиаметър са поръчани 20 тривагонни двусекционни влака Siemens Inspiro [7] с опция за още 10 влака, които са трето поколение подвижен състав за Софийския метрополитен, с талиги показани на фиг. 3.

## 2. ЕВОЛЮЦИЯ НА ТАЛИГИ ЗА МЕТРОВАГОНИ

През 2017 и 2018 г. се прави анализ на развитието на Софийското метро [8,9].

В настоящия момент по руските метрополитени се експлоатират повече от 30 различни серии и модели вагони. Разделянето на тези многочислени серии и модели на няколко групи е изпълнено, изхождайки от анализа на съществени признаци на ходовата част; натоварването на ос; връзката на коша с талигата; връзката на колоосите



1- тяга; 2- буксов демпфер; 3- температурен датчик; 4- централен демпфер; 5- пневморесор; 6- подвеска; 7- буксово ресорно окачване; 8- заземител; 9- букса; 10- калодка; 11- спирачен блок; 12, 13- спирачен цилиндър; 14- противоповличащо устройство; 15- рама; 16- колоос; 17- скоростен датчик; 18- редуктор; 19- електродвигател; 20- датчик за честота на въртене на двигателя; 21- предавателен механизъм.

**Фиг. 2.** Талига на метровагони серия „Русич“.



**Фиг. 3.** Талига за метровагони Siemens Inspiro

с талиговата рама; мощност на тяговия електродвигател; вид на тока на тяговия двигател; клас на окачване на предавателния механизъм и ресорно окачване.

Открояват се четири групи вагони: вагони серия 81-717/714; вагони серия 81-717.4/714.4 и техните модификации; вагони модел 81-720/721 и техните модификации („Яуза”); вагони модел 81-740.2/741.2 и техните модификации („Русич”).

Техническите характеристики на талигите са представени в таблица 1.

**Таблица 1. Технически характеристики на талиги за метровагони**

Характеристика	Серия или модел на вагона, експлоатирани в Московския метрополитен			
	81-717/714	81-717.4/714.4 и модиф.	81-720/721 и модиф. („Яуза”)	81-740.2/741.2 и модиф. („Русич”)
Година на откриване	1978-1989	с 1989 до сега	1997-2002, 2005	с 2002 до сега
Осева формула на вагон	20-20	20-20	20-20	20-2-20 *
Максимално натоварване на ос, kN (t)	133,3 (13,6)	133,3 (13,6)	147,0 (15,0)	127,4 (13,0)
Маса на талигата, kg	7600	7500	8000	7800
База на талигата, mm	2100	2100	2150	2150
Диаметър на ново колело по кръга на търкаляне, mm	780	780	860	860
Връзка на колооста с рамата	водена	шпинтони	шарнирно-лостова	шарнирно-лостова
Връзка на коша с тяговата талига	Централен лагер	Централен лагер	Наклонена тяга	Наклонена тяга
Мощност на тяговия електродвигател, kW	115	115	120 (170)	170
Вид на тока на тяговия двигател	постоянен	постоянен	постоянен; променлив	променлив
Ресорно окачване	Двустепенно пружини	Двустепенно пружини	Двустепенно (централно - пневматично)	Двустепенно (централно - пневматично)

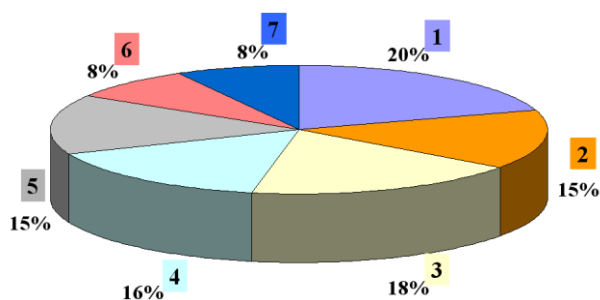
Забележки:

1 \* Вагона тип „Русич” се състои от два съчленени коша. Вагона има три талиги: две крайни моторни; средна - немоторна, на която се опират два коша.

2 Данните са за усреднена маса на талигата.

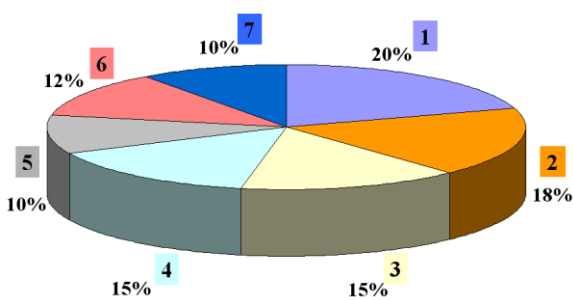
### 3. ЕКСПЛОАТАЦИОННИ НАБЛЮДЕНИЯ НА ПОВРЕДИ

От статистическите данни за ремонт на талиги за метросъстави, обслужващи Софийското метро се установяват съответните проценти на повреди за елементите на талигите, показани на фигури 4 и 5.



**Фиг.4** Процент повреди по талига на метровагони серия 81-717.4 и 81-714.4

1- рама; 2- надресорна греда; 3- шпинтони; 4- предавателен механизъм; 5- колоос; 6- централно ресорно окачване; 7- буксово ресорно окачване.



**Фиг.5** Процент повреди по талига на метровагони серия „Русич”

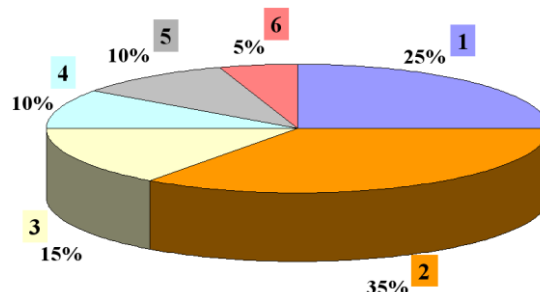
1- рама; 2- предавателен механизъм; 3- букса; 4- демпфериране; 5- колоос; 6- централно ресорно окачване; 7- буксово ресорно окачване.

Инвентарния парк на талигови рами от стари метровагони на Московския метрополитен към 31.01.2011 г. съставлява 6930 бр. През 2010 г. са направени 1263 ремонта и бракуване на 473 бр., като общото количество на отказите е 1736 бр.

По статистически данни процентите повреди по талиговите рами на метровагони серия 81-717.4 и 81-714.4, по експлоатационни наблюдения в Софийския метрополитен са показани на фиг.6.

**Фиг.6** Процент повреди по талигова рама на метровагони серия 81-717.4 и 81-714.4, по експлоатационни наблюдения в Софийски метрополитен.

1- пукнатини; 2- шарнирни връзки; 3- опори на буксово ресорно окачване; 4- опори на централно ресорно окачване; 5- отбивачки.



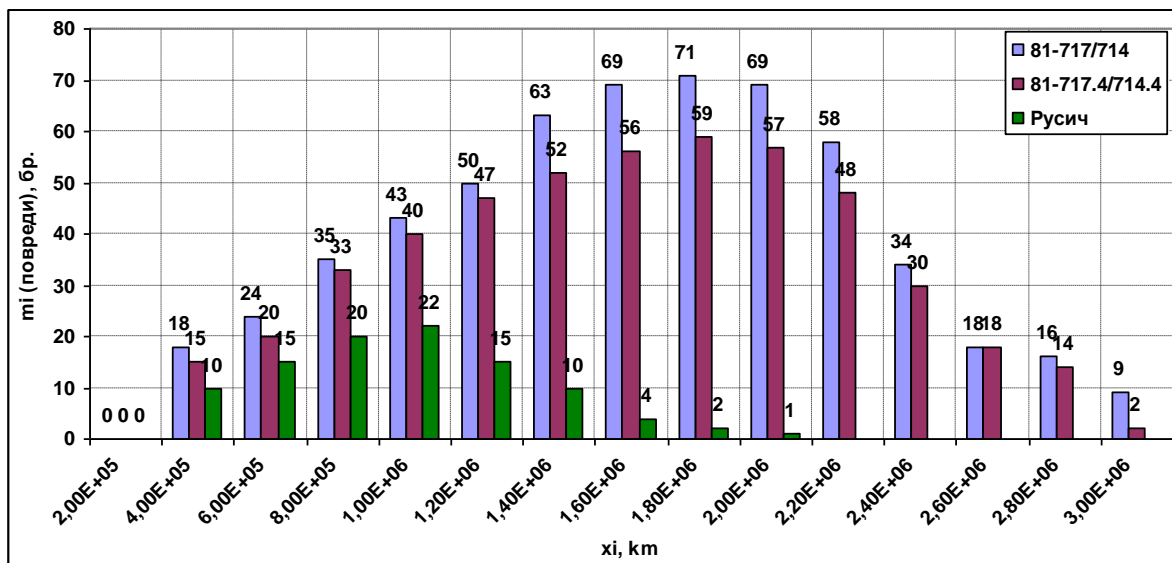
Съществен проблем в ходовата част на подвижния състав на Софийския и Московския метрополитени се явява недостатъчната надеждност на талиговите рами.

#### 4. НАДЕЖДНОСТ НА ТАЛИГОВИ РАМИ ЗА МЕТРОВАГОНИ ЕКСПЛОАТИРАНИ В СОФИЙСКИ И МОСКОВСКИ МЕТРОПОЛИТЕНИ.

Надеждността на машините и системите зависи от надеждността на елементите, влизащи в тях, от нивото на проекто-конструкторските работи, от качеството на изработка, от условията на експлоатация и др. [10,11,12] Повечето от факторите, определящи надеждността на талигите за метровагони имат случаен характер (натоварване, гранично състояние и т.н.). Основният метод за изследване на надеждността е статистическият метод, а основното средство се явява теорията на вероятностите. Нормалното разпределение намира широко приложение в статистическата методология [13]. Променливите с помощта, на които се изучават различни масови явления често имат разпределения различни от нормалното. След приложение на логаритмична трансформация на тези променливи обаче разпределенията на много от тях се доближават до нормалното. Това позволява, при техния анализ да се прилагат свойствата на нормалното разпределение [14,15]. Поради тази причина се определя функцията на плътността на вероятността на разпределение отработката на талиговата рама на талиги от вагони серии 81-717/714, 81-717.4/714.4 и „Русич“ до отказ по три закона на разпределение: Вейбул (WEIBULL), Нормален (NORMDIST) и Експоненциален (EXPONDIST).

На фигура 7 са отразени броя на отказите за изследваните талигови рами при съответен пробег на метровагоните.

В програмните продукти Microsoft Excel [16,17] и Statgraphics [18] разпределенията се задават със следните функции: WEIBULL( $x_i$ ;  $\beta$ ;  $\alpha$ ; FALSE); NORMDIST( $x_i$ ;  $m_x$ ;  $S_x$ ; FALSE) и EXPONDIST( $x_i$ ;  $\lambda$ ; FALSE), където:  $x_i$  е произволна стойност на случайната величина;  $m_x$  - математическото очакване (средната стойност) за значенията на случайната величина;  $S_x$  - средно квадратично отклонение на случайната величина;  $\beta$ ,  $\alpha$  - параметри, съответно на формата и мащаба (от [11,12] се определят параметърът  $\beta$  и коефициентът  $k_\beta$  в зависимост от коефициент на вариация  $v_x = S_x/m_x$ , а параметърът се определя от отношението  $\alpha = m_x/k_\beta$ );  $\lambda$  - интензивността на потока на отказите и FALSE – логическа стойност на функцията, вероятност за поява на отказ.



Фиг. 7 Брой откази на изследваните талигови рами при съответен пробег на метровагони серии 81-717/714; 81-717.4/714.4 и „Русич”.

Плътноста на вероятността за поява на отказ за посочените разпределения се определя по следните формули:

- за разпределение на Вейбул:

$$(1) \quad f(x) = \beta \lambda \cdot x_i^{\beta-1} \exp[-\lambda \cdot x_i^\beta], \text{ където } \lambda = [\alpha^\beta]^{-1}$$

- за нормално разпределение:

$$(2) \quad f(x) = (S_x \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \exp[-(x_i - m_x)^2 / 2S_x^2]$$

- за експоненциално разпределение:

$$(3) \quad f(x) = \lambda \cdot \exp[-\lambda \cdot x_i], \text{ където } \lambda = [m_x]^{-1}$$

Определящите параметри на посочените разпределения са математическото очакване и средно квадратичното отклонение на случайната величина. Те могат да бъдат изчислени по следните формули:

$$(4) \quad m_x = \sum m_i \cdot x_i / \sum m_i \text{ и } S_x = \sqrt{\sum m_i \cdot (x_i)^2 / \sum m_i - m_x^2}$$

Отчитайки наличието на априорните сведения за вида на функциите на разпределение, практически, задачите при експериментална оценка на надеждността се свеждат до следните два варианта:

- видът на функцията на разпределение на наблюдаваната случайна величина е известен предварително; задачата на статистическото обработване е получаване на оценки за показателите на надеждността отчитайки вида на функцията на разпределение и характера на наличния статистически материал;

- видът на функцията на разпределение не е известен или само се предполага какъв може да бъде.

В последния случай, след анализ на процесите, които са причина за отказите и след предварителен анализ на получените статистически данни се приема хипотеза за вида на функцията на разпределение. Чрез методите на математическата статистика се проверява дали експерименталните данни не противоречат на тази хипотеза и се оценяват параметрите на тази функция.

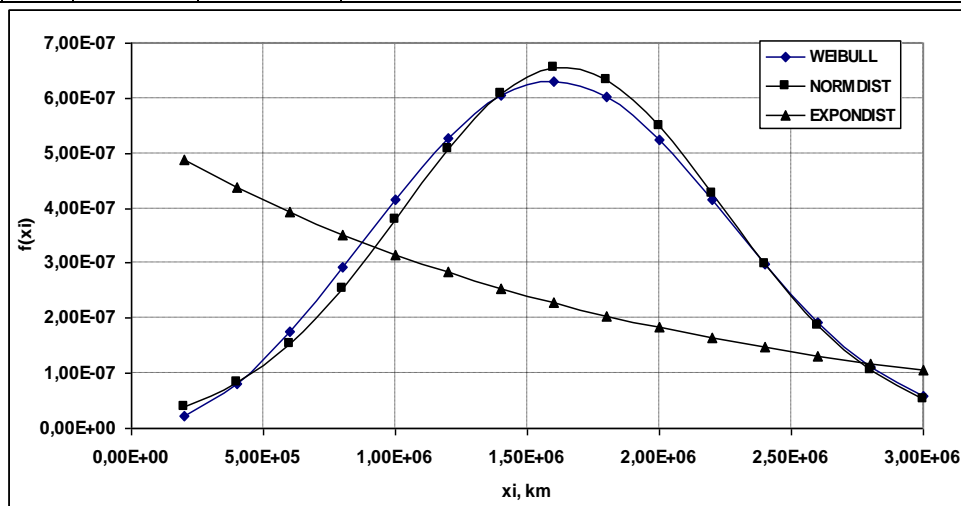
#### 4.1. Надеждност на талигови рами за метровагони, експлоатирани в Московски метрополитен – серии 81-717/714.

Последователността на изчисленията е дадена в таблица 2. Плътността на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серии 81-717/714 по различни закони на разпределение е показана на фиг.8.

**Таблица 2.** Последователност на изчисленията за талигови рами на метровагони серии 81-717/714

Интер-вали	xi, km	mi, бр	mi.xi, km	mi.xi <sup>2</sup> , km	Закон на разпределение			Интенз.н а отказите
					WEIBULL	NORMDIST	EXPONDIST	
1	200000	0	0	0	2,1316E-08	3,9859E-08	4,8876E-07	0
2	400000	18	7,2E+06	2,88E+12	8,1562E-08	8,2347E-08	4,3828E-07	2,755E-16
3	600000	24	1,4E+07	8,64E+12	1,7525E-07	1,5263E-07	3,9302E-07	4,828E-16
4	800000	35	2,8E+07	2,24E+13	2,9229E-07	2,5381E-07	3,5242E-07	1,008E-15
5	1000000	43	4,3E+07	4,3E+13	4,1671E-07	3,7867E-07	3,1603E-07	1,505E-15
6	1200000	50	6E+07	7,2E+13	5,2796E-07	5,0686E-07	2,8339E-07	2,02E-15
7	1400000	63	8,8E+07	1,24E+14	6,0489E-07	6,0868E-07	2,5412E-07	3,17E-15
8	1600000	69	1,1E+08	1,77E+14	6,3144E-07	6,5580E-07	2,2787E-07	3,785E-15
9	1800000	71	1,3E+08	2,30E+14	6,0197E-07	6,3392E-07	2,0434E-07	4,002E-15
10	2000000	69	1,4E+08	2,76E+14	5,2378E-07	5,4975E-07	1,8323E-07	3,785E-15
11	2200000	58	1,3E+08	2,81E+14	4,1494E-07	4,2774E-07	1,6431E-07	2,698E-15
12	2400000	34	8,2E+07	1,96E+14	2,9821E-07	2,9859E-07	1,4734E-07	9,522E-16
13	2600000	18	4,7E+07	1,22E+14	1,9357E-07	1,8700E-07	1,3212E-07	2,755E-16
14	2800000	16	4,5E+07	1,25E+14	1,1292E-07	1,0507E-07	1,1847E-07	2,19E-16
15	3000000	9	2,7E+07	8,1E+13	5,8888E-08	5,2968E-08	1,0624E-07	7,13E-17
SUM		577	9,4E+08	1,76E+15				

**Фиг. 8** Плътност на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серии 81-717/714 по различни закони на разпределение.



Стойности на изчислените параметри:

$$m_x = 1637435; S_x = 607166; \lambda = 1/m_x = 5,5E-07; v_x = 0,3708$$

Отчетени  $\beta = 2,95$  и  $k_\beta = 0,8925$ .

#### 4.2. Надеждност на талигови рами за метровагони, експлоатирани в Софийския метрополитен – серии 81-717.4/714.4.

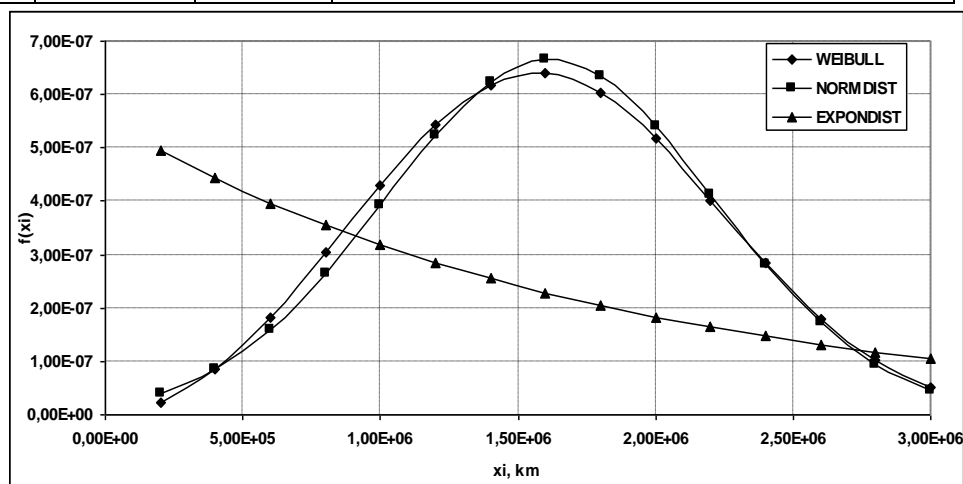
Последователността на изчисленията е дадена в таблица 3. Плътността на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серии 81-717.4/714.4 по различни закони на разпределение е показана на фиг.9.

**Таблица 3.** Последователност на изчисленията за талигови рами на метровагони серии 81-717.4/714.4

Интервали	xi, km	mi, бр	mi.xi, km	mi.xi <sup>2</sup> , km	Закон на разпределение			Интенз.на отказите
					WEIBULL	NORMDIST	EXPONDIST	
1	200000	0	0	0	2,22E-08	4,11E-08	4,94E-07	0
2	400000	15	6,0E+06	2,4E+12	8,49E-08	8,54E-08	4,43E-07	2,01E-16
3	600000	20	12E+06	7,2E+12	1,82E-07	1,58E-07	3,96E-07	3,52E-16

4	800000	33	26,4E+06	2,11E+13	3,03E-07	2,64E-07	3,55E-07	9,35E-16
5	1000000	40	40E+06	4E+13	4,31E-07	3,93E-07	3,18E-07	1,36E-15
6	1200000	47	56,4E+06	6,77E+13	5,43E-07	5,23E-07	2,85E-07	1,86E-15
7	1400000	52	72,8E+06	1,02E+14	6,18E-07	6,23E-07	2,55E-07	2,27E-15
8	1600000	56	89,6E+06	1,43E+14	6,39E-07	6,64E-07	2,28E-07	2,62E-15
9	1800000	59	106,2E+06	1,91E+14	6,03E-07	6,34E-07	2,04E-07	2,90E-15
10	2000000	57	114E+06	2,28E+14	5,17E-07	5,41E-07	1,83E-07	2,71E-15
11	2200000	48	105,6E+06	2,32E+14	4,02E-07	4,13E-07	1,64E-07	1,94E-15
12	2400000	30	72E+06	1,73E+14	2,83E-07	2,821E-07	1,47E-07	7,77E-16
13	2600000	18	46,8E+06	1,22E+14	1,79E-07	1,72E-07	1,31E-07	2,87E-16
14	2800000	14	39,2E+06	1,09E+14	1,02E-07	9,45E-08	1,17E-07	1,76E-16
15	3000000	2	6000000	1,8E+13	5,14E-08	4,6263E-08	1,05301E-07	3,95E-18
SUM		491	7,93E+08	1,46E+15				

**Фиг. 9** Плътност на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серии 81-717.4/714.4 по различни закони на разпределение.



Стойности на изчислените параметри:

$$m_x = 1615071,3; S_x = 599810,68; \lambda = 1/m_x = 5,52E-07; v_x = 0,371$$

Отчетени  $\beta = 2,95$  и  $k_\beta = 0,8925$

#### 4.3. Надеждност на талигови рами за метровагони експлоатирани в Софийския метрополитен – серия „Русич”.

Последователността на изчисленията е дадена в таблица 4. Плътноста на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серия „Русич” по различни закони на разпределение е показана на фиг.10.

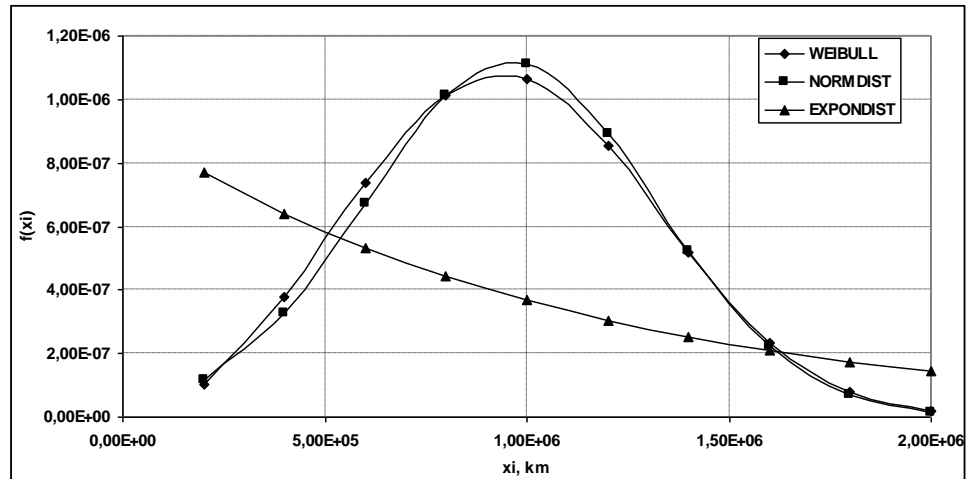
**Таблица 4.** Последователността на изчисленията за талигови рами на метровагони серия „Русич”.

Интервали	xi, km	mi, бр	mi.xi, km	mi.xi <sup>2</sup> , km	Закон на разпределение			Интенз.на отказите
					WEIBULL	NORMDIST	EXPONDIST	
1	200000	0	0	0	1,025E-07	1,15E-07	7,72E-07	0
2	400000	10	4000000	1,6E+12	3,78E-07	3,26E-07	6,41E-07	4,24E-16
3	600000	15	9000000	5,4E+12	7,356E-07	6,73E-07	5,32E-07	9,34E-16
4	800000	20	16000000	1,28E+13	1,015E-06	1,01E-06	4,42E-07	1,64E-15
5	1000000	22	22000000	2,2E+13	1,062E-06	1,11E-06	3,67E-07	1,97E-15
6	1200000	15	18000000	2,16E+13	8,529E-07	8,92E-07	3,04E-07	9,34E-16
7	1400000	10	14000000	1,96E+13	5,196E-07	5,21E-07	2,53E-07	4,24E-16
8	1600000	4	6400000	1,024E+13	2,355E-07	2,22E-07	2,10E-07	7,09E-17
9	1800000	2	3600000	6,48E+12	7,741E-08	6,92E-08	1,74E-07	1,84E-17
10	2000000	1	2000000	4E+12	1,795E-08	1,57E-08	1,45E-07	4,75E-18
SUM		99	95000000	1,037E+14				

Стойности на изчислените параметри:

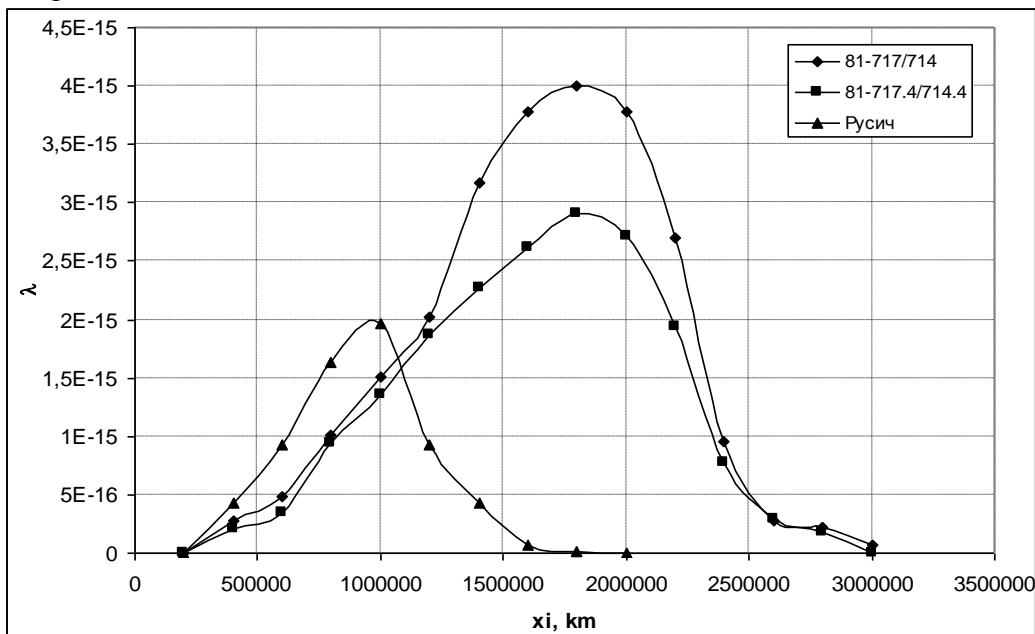
$$m_x = 959596; S_x = 356163,4; \lambda = 1/m_x = 9,3E-07; v_x = 0,371$$

Фиг. 10. Плътност на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серия „Русич“ по различни закони на разпределение.



Отчетени  $\beta = 2,95$  и  $k_\beta = 0,8925$

На фиг. 11 е дадена интензивността на отказите при талиги на изследваните серии метровагони.



фиг. 11 Интензивност на отказите при метроталигите на изследваните серии метровагони.

#### 4.4. Проверка на критерия на съгласие

Параметрите на теоретичното разпределение се определят от условието за равенство между моментите на теоретичното и статистическото (опитно) разпределения. Използването на метода на моментите се основава на факта, че ако броят на отказите е достатъчно голям, то по закона за големите числа стойностите на емпиричните (опитните) моменти са близки до теоретичните. Методът на моментите е предложен от английския статистик Карл Пирсън в 1894 г. Най-широко разпространения критерий на съгласие е критерия на Пирсън. При използване на критерия на Пирсън като мярка за отклонение на избраното теоретично разпределение от емпиричното се приема числото  $\chi^2$ , което се изчислява по формулата:

$$(5) \quad \chi^2 = \sum (m_i - m'_i)^2 / m'_i,$$

където:  $m_i$  – броят на отказите от вариационния ред, попаднали в  $i$ -я интервал;  $m'_i$  – теоретичните стойности на честотите, определени по зависимостта:



$$(6) \quad m'_i = \sum m_i \cdot h \cdot f(x_i),$$

където  $h$  – големина на интервала, на който е разделен пробегът на вагона.

Изчислената по (5) мярка за отклонение е случайна величина, имаща  $\chi^2$  разпределение с брой на степените на свобода  $\ell = k - 1 - S$ , където  $k$  е броят интервали, на които е разделен наблюдавания пробег,  $S$  е броят на параметрите на функцията на разпределение, оценявани по една и съща статистика. За изчислените брой степени на свобода и желана, доверителна вероятност по [11,12] се отчита нормираната величина на критерия на Пирсон, необходима за проверка на критерия на съгласие.

Броят на степените на свобода за метровагони серии 81-717/714 и 81-717.4/714.4 е:  $\ell = k - 1 - S = 15 - 1 - 2 = 12$ , за който критерият на Пирсън при доверителна вероятност 0,05 по [12] отчитаме нормираната величина на критерия на Пирсон  $\chi^2_{0,05\text{норм.}} = 21,026$ . За метровагони серия „Русич” -  $\ell = k - 1 - S = 10 - 1 - 2 = 7$ , за който критерият на Пирсън при доверителна вероятност 0,05 по [12] отчитаме нормираната величина на критерия на Пирсон  $\chi^2_{0,05\text{норм.}} = 14,067$ . Изчислените критерии на Пирсон се сравняват с нормираната величина. Необходимо е  $\chi^2_{0,05\text{изч.}} < \chi^2_{0,05\text{норм.}}$ .

Изчисления критерий на Пирсон за различни серии метровагони и закони на разпределение е даден в таблица 5.

**Таблица 5.** Критерий на Пирсон  $\chi^2_{0,05\text{изч.}}$  за различни серии метровагони и закони на разпределение.

Серии метровагони	WEIBULL	NORMDIST	EXPONDIST
81-717/714	20,03488287	23,47089	509,3434
81-717.4/714.4	17,16687454	21,42077	421,1095
„Русич”	4,558537749	6,702404	82,2333

Проверката на критерия на съгласие за метровагони серии 81-717/714 и 81-717.4/714.4 показва, че е обоснована апроксимацията на закона на емперичното разпределение на Вейбул, а за метровагони серия „Русич” - по Вейбул и Нормалния закон на разпределение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плътноста на вероятността за поява на отказ на талигови рами от метровагони серии 81-717/714 се разпределя по закона на Вейбул, а за талигови рами от метровагони серии 81-717.4/714.4 и „Русич” - по Вейбул и Нормалния закон на разпределение.

Откриването на ненадеждните възли на талигови рами на метровагони серии 81-717/714 и 81-717.4/714.4 позволява определяне на направлението на бъдещите конструкторски и производствено-технологични дейности, по тяхната модернизация и необходимост от разработване на нови конструкции талигови рами.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вагон метрополитена моделей 81-717.4 и 81-714.4 – техническое описание и инструкция по эксплуатации. Книга I. ММЦ-Мытищи, 1989.
- [2] Методическое пособие для изучения механической системы вагонов модели 81-717.4 и 81-714.4, Харьков, 1989
- [3] Попов В., Обоснование и разработка концепции и технических решений проектирования рамы тележки вагона метрополитена современного мегаполиса, Москва – 2014
- [4] <https://www.metropolitan.bg/>
- [5] ПРОЕКТ ЗА РАЗШИРЕНИЕ НА МЕТРОТО В СОФИЯ, ТРЕТА МЕТРОЛИНИЯ, ПЪРВИ ЕТАП – ОТ КМ 4+950 ДО КМ 11+966,34 ДОСТАВКА НА МЕТРОВЛАКОВЕ И ИЗПЪЛНЕНИЕ НА СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ. Том 2- Технически изисквания и технически спецификации за доставка на подвижен състав за трета линия на метрото.
- [6] <https://www.vesti.bg/bulgaria/10-novi-motrisi-za-stolichnoto-metro-6004463>

- [7] София, Siemens Inspiro Список подвижного состава <https://news.bg/regions/pristignaha-13-vlaka-za-tretata-liniya-na-metroto.html>
- [8] Вълков Р., Тодоров Ю., МЕТРОПОЛИТЕН СОФИЯ – АНАЛИЗИ И ПЕРСПЕКТИВИ, НАУЧНО СПИСАНИЕ „МЕХАНИКА ТРАНСПОРТ КОМУНИКАЦИИ“, ISSN 1312-3823; ISSN 2367-6620; том 16, брой 2, 2018
- [9] Иванова, Г., Ананиев С., ПРОСЛЕДЯВАНЕ И АНАЛИЗ НА РАЗВИТИЕТО НА СОФИЙСКОТО МЕТРО, НАУЧНО СПИСАНИЕ „МЕХАНИКА ТРАНСПОРТ КОМУНИКАЦИИ“, ISSN 1312-3823; ISSN 2367-6620; том 15, брой 3, 2017
- [10] Stapelberg, Rudolph Fr., 2009. Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design, Springer-Verlag, London, 2009, 826p.
- [11] Пузанков. А. Д. Определение параметров надежности деталей и узлов локомотивов: методические указания к практическим занятиям, М.: МИИТ, 1990.
- [12] Димитров, Ж. Надеждност на железопътна техника, С. 1989
- [13] Михалев Др., Р. Алашка Теория на вероятностите и статистика, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2011
- [14] Radičević, B. Petrović, Z. Ivanović, S., Kolarević M., AN EXAMPLE OF APPLICATION OF SOFTWARE FOR ASSESSMENT RELIABILITY DISTRIBUTION, НАУЧНО СПИСАНИЕ „МЕХАНИКА ТРАНСПОРТ КОМУНИКАЦИИ“, ISSN 1312-3823, issue 3, 2011, article No 0591
- [15] Ramović R., Pokorni S., Stanje i perspektive obezbeđenja pouzdanosti savremenih tehničkih sistema, OTEX 2005, Belgrade, Belgrade
- [16] Каращранова Е. Формиране на понятия от описателната статистика с помощта на MS Excel. Тридесет и втора пролетна конференция на Съюза на математиците в България, с.362-368, Слънчев бряг, Април 2003.
- [17] Microsoft Excel 2003 Help, Microsoft Corporation
- [18] Statgraphics 18 products <http://www.statgraphics.com/>

## STUDY THE RELIABILITY OF THE BOGIES OF METROPOLITAN

**Dobrinka Borisova Atmadzhova**  
[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

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

**Keywords:** *reliability, metro wagons, bogies, intensity of failures, failure.*

**Abstract:** *The reliability of the machines and systems depends on the reliability of the elements entering them, the level of the design, the quality of the workmanship, the operating conditions, etc. Most of the factors determining the reliability of bogies for metro wagons have a random character (load, limit state, etc.). The basic method for testing the reliability is statistical method and the main tool is the theory of probability. The article analyzes the reliability of bogies for metro wagons. To determine the exact indicators of reliability as the probability of trouble-free operation, the intensity and frequency of failures and the mathematical expectation is the study of the elements of the suspension and frame structures bogies for metro wagons operating in the city Sofia. Were observed structures bogies for metro wagons type 81-717/81-714; 81-717.4/81-714.4 and 81-740.2/ 741.2 Rusich, operated on the territory of Bulgaria and Russia for the observation period elapsed total mileage of about 2-3 million kilometers. To determine the law of distribution of processing to failure, data on the occurrence of first refusal for bogie components for metro wagons are processed with software. They are built charts and statistical models and are defined indicators of reliability. The type of law of distribution of work to first refusal is defined for bogies of metro wagons.*