

## **МЕТОД ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА РЕСУРС ОТ ИЗНОСВАНЕ НА КОЛООСИ ОТ ПЪТНИЧЕСКИ ВАГОНИ**

**Ваньо Ралев, Добринка Атмаджова**  
[vanio.raliev@gmail.com](mailto:vanio.raliev@gmail.com), [atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,  
гр. София, ул. Гео Милев № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** *пътнически вагони, колооси, колела, износване, ресурс.*

**Резюме:** *Вагонните колооси, като елементи от ходовата част на подвижния железопътен състав (ПЖПС) са главните и отговорни части за осигуряване надежден и безопасен транспортен процес. От конструкцията, материала, технологията на производство, качеството на ремонта, контрола на състоянието на колоосите зависят в голяма степен безопасността на движението на влаковете, плавността на хода, големината на силите при взаимодействието с релсовия път и съпротивлението на движение.*

*Конструкцията, основните размери и техническите условия и изисквания за производство, ремонт и контрол на техническото им състояние в експлоатация се определят от държавните стандарти на отделните страни, международни регламенти и споразумения. За теоретично и експериментално определяне якостта и долготрайността на колооси от ПЖПС са създадени редица модели. Възниква необходимост от изследване ресурса на пътнически вагонни колооси относно износването на бандажния профил.*

*По време на работа се променят стойностите на контролираните параметри, които характеризират процеса на износване на детайли от ПЖПС. Например, контролираните параметри са стойността на дебелината на бандажа, дебелина и височина на реборд от колелата на колооси и т.н. Отправна точка за решаване на този проблем е способността да се определи ресурсът на вагонни колела на всички етапи от жизнения цикъл. За това се използват и усъвършенстват теоретични методи за изчисление в комбинация с усъвършенстване на диагностичните методи и технологията на обслужване.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

При износващите се детайли главното събитие е достигането на граничното състояние, а не настъпването на самия отказ, който в болшинството от случаите е катастрофален с тежки последици [1]. Затова интерес представлява прогнозирането на ресурса, а не на времето за безотказна работа. Този ресурс може да се сравнява с постигнатия в световната практика при аналогични детайли и възли на сложни

технически обекти [2,3]. Той е пряко свързан с усъвършенстването на системата за ремонт в процеса на дългогодишната експлоатация; с производствените, ремонтните и граничните допуски на детайлите; с количеството на резервните части и материали за ремонта; с качеството и износоустойчивостта на използваните материали и т.н. Много голяма ще бъде икономическата изгода, ако се осигури на даден детайл от железопътната техника ресурс от 500 000 km, получен от 5 пъти по-малък брой възстановявания за срока на експлоатация и свързаните с тях разходи.

За достоверно определяне на надеждностните показатели конструкторът трябва да ползува данни от реални експерименти и да извърши статистическа обработка на множество реализации от износване. Опитните данни могат да бъдат получени от: стендови, ускорени или друг вид лабораторни изпитвания на износване; резултати от измерване на износването при редовната експлоатация на детайли от други обекти, които са идентични по вид, функция и условия на натоварване, на предвидените в новата конструкция; организиране на наблюдение на износването на извадка (най-често от пробната серия) на новосъздадените обекти за период, достатъчен за достоверно прогнозиране чрез възприетия за тази цел модел. Теорията на износването и физическите закономерности на процеса имат място при предварителните ориентировъчни пресмятания, съпровождащи самото проектиране, както и при прогнозиране на ресурса на съществуващи детайли с известна надеждност, които в новото изделие ще работят в нови условия, отличаващи се от старите в определени граници.

За определяне ресурса от износване в машините и механизмите са предложени най-разнообразни модели [4,5] и вероятностни разпределения. Върху стохастичната природа на процеса главни влияещи фактори са най-малко две случайни величини – пробегът (или времето в работа) и големината на полученото износване. Безопасността на движението на влаковете до голяма степен зависи от конструкцията, материала, технологията на производство и ремонт, както и от качеството на проверката на колоосите [6]. Конструкцията и състоянието на колоосите оказват влияние върху плавността на движението, величината на силите, възникващи от взаимодействието на вагона и релсата, и устойчивостта на движение [7,8].

Надеждността и безопасността на работата на ходовата част от подвижния състав се гарантират чрез изпитване на колоосите на етапи конструиране, производство, ремонт и експлоатация. Изпитанията се извършват при регламентирани условия и интервали от време за откриване на дефекти на материала и механични повреди [8,9].

Ресурса на железопътните колела се определя от два параметъра: времето за работа на колоосите преди повторното им претръгване и броя на възможните стругования на колелата, което зависи от това колко ефективно се отстранява металът при възстановяване профила на колелото.

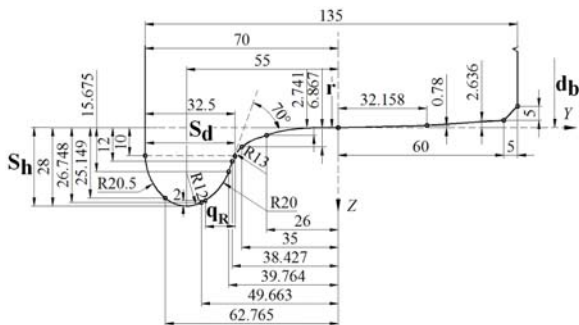
Времето на работа на колелото преди повторно претръгване до голяма степен се определя от интензивността и неравномерното износване профила на бандажа и реборда. Например, средният експлоатационен живот на колоос на пътнически вагони между повторното струговане е около една година. За възстановяване на износените повърхности на колелата се използват различни методи за нанасяне на нови метални слоеве с последваща обработка до нормативните изисквания за точност и грапавост.

Целта на настоящата публикация е изчисляване ресурса на колела от пътнически колооси в експлоатация на Холдинг БДЖ – „Пътнически превози“ ЕООД, подложени на износване.

## 2. БАНДАЖЕН ПРОФИЛ НА КОЛЕЛО ОТ ПЪТНИЧЕСКИ КОЛООСИ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ХОЛДИНГ БДЖ – „ПЪТНИЧЕСКИ ПРЕВОЗИ“ ЕООД

Профила на колелата от пътническите колооси е съгласно UIC ERRI S1002 и БДС EN 13262:2020/A1:2022 [10] с размери и основни параметри характеризиращи износването на бандажния профил, като  $r$  (радиус в кръга на търкаляне),  $d_b$  (дебелина на бандаж),  $S_d$  (дебелина на реборд),  $S_h$  (височина на реборд) и  $q_R$  (подрязване на реборд) са дадени на фиг. 1.

На фиг.2 са показани зоните на износване на нов профил – в областта на реборда и средната част (около кръга на търкаляне) [11].



Фиг.1. Профил на колело от пътническа колоос съгласно UIC ERRI S1002 и БДС EN 13262:2020/A1:2022 [7] с размери и основни параметри.



Фиг. 2. Характер на износване на колело от железопътна колоос [8].

## 3. РЕСУРС НА КОЛООСИ ОТ ПЪТНИЧЕСКИ ВАГОНИ

По време на работа стойностите на контролираните параметри, които характеризират процеса на износване на детайли от ПЖПС се променят. Например, контролираните параметри на колоосите са стойността на дебелината на бандажа, дебелина и височина на реборд на колелата и т.н.

Измерванията на контролираните параметри се извършват при планови прегледи и ремонти. Съгласно книгите за регистрация на експлоатационни показатели и формуляри, пробегът от момента на възстановяване на частта се определя за всяка стойност (например: за дебелината на бандажа от колелата на колоос след обстъргване, за дебелината на бандажа - след смяна) до момента на измерване.

Въз основа на ограничен брой статистически данни е невъзможно надеждно да се определят числените характеристики на закона за разпределението на контролирания параметър и да се предвиди разглежданата част [12,13].

Разсейването на стойността на междуремонтните пробези при различните пътнически вагони може да се пренебрегне и може да се приеме, че контролът на техническото състояние на пътническите вагони се извършва на едни и същи интервали от пробег  $\Delta L$ , а резултатите от измерванията на контролираните параметри образуват равностоящи редове от наблюдения.

Измерванията на контролирания параметър на едни и същи детайли от различни пътнически вагони, получени при ремонт с един и същ редови номер, образуват стратегически обем  $N$ , ако под наблюдение се намират  $n$  едноименни детайли.

Теоретично и чрез множество експерименти е установено, че случайната величина на контролирания параметър при фиксирана стойност на пробегата добре се описва от закона за нормално разпределение, което е следствие от закона за "големите числа" [14].

Според този закон, ако една случайна променлива е подложена на въздействието на голям брой случайни фактори, сред които е невъзможно да се отдели доминиращият, т.е. всеки от тях има приблизително еднакво влияние върху нея, тогава разпределението на тази случайна величина се подчинява на нормалния закон.

Анализирайки стойностите на статистическия ред на контролирания параметър в  $i$ -тия участък ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ), може да се види, че някои от стойностите му рязко се различават от основната маса данни. Това се обяснява на влиянието на редица фактори: нееднородността на условията на движение, грешка на техника по време на измерванията, нарушаването на режима на експлоатация на Подвижен Железопътен Състав (ПЖПС), температурните условия на експлоатация, степента на влажност на атмосфера и съдържанието на прах, химичния състав на материала и физичните свойства на детайла, качеството на изработката му, якостните му характеристики, състоянието на коловоза и зависещите от него динамични натоварвания върху оборудването на ПЖПС и много други фактори.

Сред изброените фактори е невъзможно да се отдели преобладаващият, всеки от тях има приблизително еднакъв ефект върху процеса на износване на детайли от ПЖПС, поради което техните контролирани параметри при фиксирана стойност на пробега се разпределят по нормалния закон.

Надценяването или подценяването на стойността на контролиран параметър нарушава зависимостта му от пробега, тъй като резките промени в параметъра, като внезапни повреди, нарушават процеса на естествено износване. Следователно, за да се избегнат изкривявания, е необходимо да се изключат от общия брой първоначални данни онези стойности, които се различават рязко от основната съвкупност. За да не се отхвърлят напълно нормалните стойности, а да се изключат точно тези, свързани с грешки в измерването, се прилага критерият "груби грешки". За това се изчисляват средната стойност (математическото очакване) на контролирания параметър и неговото средноквадратично отклонение [15,16].

Значението на критерия за "груби грешки" е, че всички стойности на контролирания параметър, включени в разглеждания масив, се сравняват с някои критични граници  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$ . Границите от своя страна са избрани така, че вероятността за тяхното превишаване да съответства на определено ниво на значимост  $q\%$ , а вероятността от обратната хипотеза, че отхвърленото число е произволно в тази извадка, е  $\alpha = 1 - q$ . За  $q = 0,3\%$ , тази вероятност е  $\alpha = 99,7\%$ , което за практическите изчисления осигурява необходимата точност. Критичните граници се определят съгласно правило  $3\sigma$ , т.е. сегментът  $m_i \pm 3\sigma_i$  се счита за област на практически възможни стойности на параметъра.

Числовите характеристики на закона за нормално разпределение могат да бъдат изразени чрез математическото очакване и дисперсията на случайна величина, където се изчисляват съответните оценки: средната стойност  $m_i$  и оценката на дисперсията (средноквадратично отклонение  $\sigma_i$ ) за всички стойности на пробега  $L_i$ .

### **3.1. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЧИСЛЕНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАКОНА ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО**

#### **3.1.1. Контролиран параметър**

Случайната променлива ще бъде напълно описана от вероятностна гледна точка, ако дефинираме закона за нейното разпределение, което се разбира като определено съотношение, което установява връзка между възможните стойности на случайната величина и съответните им вероятности. Контролираният параметър на износващият се детайл е непрекъснатата случайна величина, чийто закон на разпределение може да бъде представен чрез плътност на разпределението.

Средната стойност (математическо очакване) на контролирания параметър  $Y$  в  $i$ -тото сечение е:

$$(1) m_i = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_{j=1}^{N_i} Y_{ij}$$

Средноквадратичното отклонение на контролирания параметър е:

$$(2) \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} (Y_{ij} - m_i)^2}$$

където  $N_i$  е броят на стойностите на контролирания параметър за измерване с дадено число  $i$  (в  $i$ -то сечение).

Всички стойности на контролирания параметър, които се намират извън интервала  $[m_i - 3 \cdot \sigma_i; m_i + 3 \cdot \sigma_i]$ , се изключват от по-нататъшно разглеждане.

За построяване плътността на разпределение на контролирания параметър, зоната на неговата дефиниция се разделя на  $K$  интервали и се изчисляват стойностите  $\Delta n_j^*$  - броят на стойностите на контролирания параметър, които попадат в  $j$ -тия интервал, където  $j = 1, 2, \dots, K$ .

Броят на интервалите на разделяне може да се определи с помощта на правилото на Strajessa (Расчет числовых характеристик закона распределения - <https://infopedia.su/14x4396.html>):

$$(3) K = 1 + 3,3 \log n,$$

където  $n$  е размерът на извадката от статистическата съвкупност (за  $j$ -тото сечение).

Съгласно това правило, когато размерът на статистическата съвкупност е от  $n = 100$  до  $n = 1000$ , препоръчителният брой интервали е в диапазона от 8–11.

Следователно, когато се определя закона за разпределение на контролирания параметър, е по-удобно да се вземе броят на интервалите, равен на 10, тъй като на практика броят на измерванията на контролираните параметри на износващите се детайли на ПЖПС обикновено е в рамките на  $n = 100$ – 1000.

Тъй като ширината на интервала от възможни стойности на нормално разпределена случайна променлива е  $6\sigma_y$ , тогава ширината на  $j$ -тия групиращ интервал се приема за  $0,6\sigma_y$ .

Честотата на попадения на контролирания параметър в  $j$ -тия интервал се определя по формулата:

$$(4) P_j^* = \Delta n_j^* / n$$

След определяне на броя на попаденията на реализация на случайна величина във всеки от интервалите на групиране се изгражда хистограма, за която интервалите на групиране се нанасят по абсцисната ос и върху всеки от тях се изгражда правоъгълник, площта на което е равно на честотата на дадения интервал  $P_j^*$ .

Височината на правоъгълника се определя като:

$$(5) h_j = \Delta n_j^* / 0,6 \cdot \sigma_y$$

Въз основа характера на хистограмата се избира законът на разпределението, с помощта на който се изравняват идентифицираните статистически редове. След това се проверява дали получените данни са в съответствие с хипотезата, че случайната величина има избрания закон на разпределение, даден от плътността на разпределението  $f(y)$ .

Мярката за съгласие между теоретичното и статистическото разпределение е критерия на Pearson (критерий  $\chi^2$ ), който позволява да се определи вероятността, поради случайни причини, мярката за несъответствие между теоретичното и статистическото разпределение да бъде по-голяма от действително наблюдаваната.

Изчислената стойност на критерия на Pearson се дефинира като:

$$(6) \chi^2 = \sum_{j=1}^k (\Delta n_j^* - \Delta n_j)^2 / \Delta n_j$$

където  $\Delta n_j$  е теоретичният брой стойности на случайна величина в  $j$ -тия интервал.

$$(7) \Delta n_j = N \cdot P_j$$

където  $P_j$  е теоретичната вероятност на случайна величина да попадне в  $j$ -тия интервал.

Теоретичната вероятност случайна променлива да попадне в  $j$ -тия интервал се определя от зависимостта:

$$(8) P_j = \int_{y_{j-1}}^{y_j} f(y) dy = Z_j - Z_{j-1}$$

където  $y_{j-1}$  е лявата граница на  $j$ -тия интервал;  $y_j$  е дясната граница на  $j$ -тия интервал;  $Z_j$  е стойността на функцията на разпределение в точката  $y_j$ ;  $Z_{j-1}$  - същото в точката  $y_{j-1}$ .

Колкото по-голяма е разликата  $(\Delta n_j^* - \Delta n_j)$ , толкова по-малко полученото статистическо разпределение съответства на предложеното теоретично разпределение. След определяне на мярката за несъответствие  $\chi^2$  се изчислява броят на степените на свобода:

$$(9) r = K - S,$$

където  $K$  е броят на разрядите на хистограмата;  $S$  е броят на връзките, насложени върху честотите  $P_j^*$ .

Извадките от контролирани параметри на износващи се взети от ПЖПС добре се описват от нормалния закон, чиято плътност на разпределение се определя със зависимостта:

$$(10) f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}}$$

където  $m_y$  е математическото очакване на контролирания параметър;  $\sigma_y$  е средноквадратичното отклонение на контролирания параметър;  $y$  е текущата стойност на контролирания параметър.

На случайната величина, подчинена на нормалния закон за разпределение се налагат следните връзки:

– сумата от честотите за всички интервали е равна на 1, т.е.:  $\sum_{j=1}^K P_j^* = 1$ ;

– средната стойност на статистическото разпределение е равна на математическото очакване на теоретичното разпределение, т.е.;  $\sum_{j=1}^K \bar{Y}_j \cdot P_j^* = m_y$

– дисперсията на теоретичното и статистическото разпределение трябва да е еднаква, т.е.:  $\sum_{j=1}^K (\bar{Y}_j - m)^2 \cdot P_j^* = D_y$ .

Така при  $S = 3$  и  $K = 10$  броят на степените на свобода на разпределението ще бъде  $r = K - S = 10 - 3 = 7$ .

Резултатите от изчисленията на числените характеристики  $m_y$  и  $\sigma_y$  на закона за нормално разпределение на контролирания параметър за всички стойности на пробезите  $L_i$  са представени под формата на таблица, която присвоява на всеки пробег числените характеристики  $m_{yi}$  и  $\sigma_{yi}$ , т.е. задава емпиричните зависимости  $m_y^*(L)$  и  $\sigma_y^*(L)$

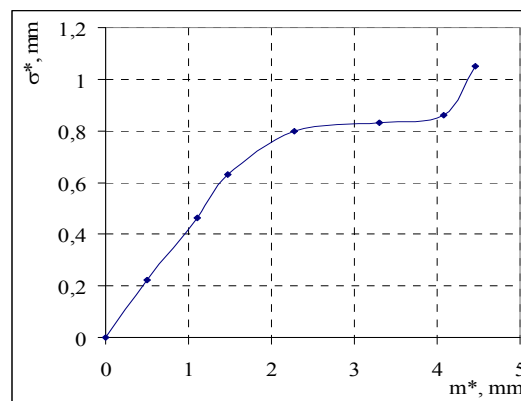
За да се предвиди процеса на износване на детайлите и да се определи техният технически живот, е необходимо да се определят аналитични зависимости на числените характеристики на средната стойност  $m_y$  и средноквадратичното отклонение  $\sigma_y$  от пробегата. Тази задача се решава чрез методи на регресионен анализ.

### 3.1.2. Определяне на зависимости на числените характеристики от пробегата

В табл.1 в качеството на пример са приведени числените характеристики на разпределение стойностите на дебелината на бандажа на колелата от колоосите при различни стойности на пробегата  $L$ . Резултати от изчислените числови характеристики на дебелината на бандажа на колела от вагонна колоос графично са представени на фиг.3.

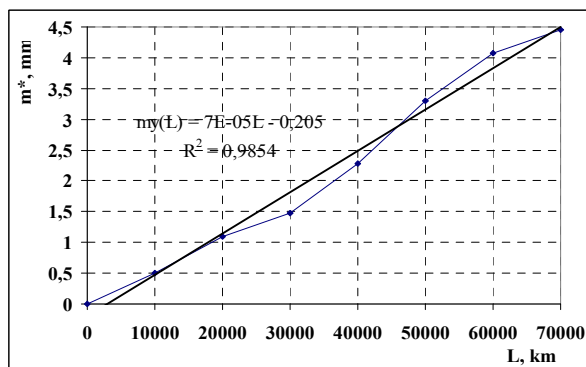
**Таблица 1 - Числени характеристики на разпределението на стойността на дебелината на бандажа на колелата от колооси на пътнически вагони от парка на Холдинг БДЖ „Пътнически превози“ ЕООД.**

Пробег $L$ , km	Брой данни, N	Числови характеристики	
		Средно значение $m^*$ , mm	Средноквадратично отклонение $\sigma^*$ , mm
0	35	0	0
10000	110	0,5	0,221
20000	120	1,1	0,464
30000	112	1,48	0,63
40000	77	2,28	0,8
50000	62	3,3	0,833
60000	46	4,08	0,86
70000	20	4,46	1,051

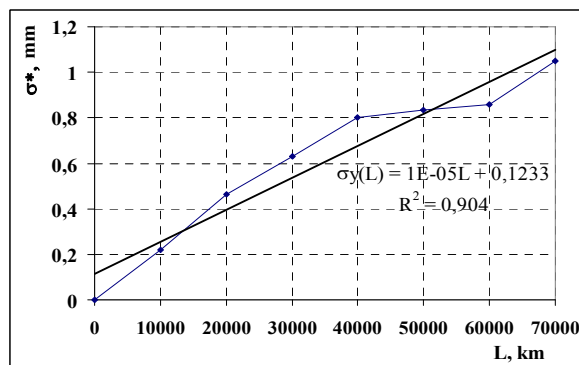


**Фиг. 3. Математическо очакване и средноквадратично отклонение на износването на бандажа на колела от вагонна колоос.**

Таблица 1 определя емпиричните зависимости  $m^*(L)$  и  $\sigma^*(L)$  във функция от пробегата  $L$ , които са показани на фиг. 4 и 5.



**Фиг. 4. Зависимост на средната стойност (математическото очакване) на контролирания параметър от пробегата.**



**Фиг. 5. Зависимост на средноквадратичното отклонение на контролирания параметър от пробегата.**

Допуските на стойностите на контролираните параметри  $Y_{\text{доп}}$  се определят с такива изчисления, че да се предотврати настъпването на период с повишено износване. Следователно стойностите на контролираните параметри представляват само втория участък на функцията - период на нормална експлоатация, при който зависимостта на контролираните параметри от пробегата е близка до линейна. За това свидетелства анализа на корелационните полета на числените характеристики на контролираните параметри  $m_y(L)$  и  $\sigma_y(L)$ , представени на фиг. 4 и 5. Параметрите  $m_y(L)$  и  $\sigma_y(L)$  са получени по метода на най-малките квадрати (с избана Trend/Regression Type

– Linear with Display equation and R-squared value on chart) чрез програмния продукт Excel 2003.

### 3.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ РЕСУРСА НА ИЗНОСВАЩИТЕ СЕ ДЕТАЙЛИ

Въз основа на получените зависимости  $m_y(L)$  и  $\sigma_y(L)$  е възможно да се предвиди процеса на износване и да се определи ресурсът на детайли на ПЖПС. Освен това, замествайки стойността на пробег  $L$  в изразите  $m_y(L)$  и  $\sigma_y(L)$ , се изчисляват числените характеристики на разпределението на контролирания параметър в областта на екстраполация и се изграждат кривите на плътността на разпределението. Излизането на контролирания параметър извън установения допуск се класифицира като отказ на детайла, т.е. - гранично износване.

По този начин, с увеличаване на пробег  $L$ , вероятността за повреда на детайла  $Q$  се увеличава и съответно вероятността за безотказна работа  $P$  намалява:

$$(11) P = 1 - Q.$$

Пробегът, при който вероятността за безотказна работа на детайла е равна на дадената стойност  $P$ , се нарича гама-процентен ресурс.

За нарастващ контролируем параметър (например дебелина на бандажа) вероятността от безотказна работа за даден пробег е:

$$(12) P(L) = \frac{1}{\sigma_y(L)\sqrt{2\pi}} \int_{Y_{\text{доп}}}^{m_y + 3\sigma_y} e^{-\frac{(Y - m_y(L))^2}{2\sigma_y^2(L)}} dy$$

където  $Y_{\text{доп}}$  е допустимата стойност на контролирания параметър ( $Y_{\text{доп}} = 35 \text{ mm}$  за дебелина на бандажа [17]).

Ако стойността на контролирания параметър намалява с увеличаване на  $L$ , то:

$$(13) P(L) = \frac{1}{\sigma_y(L)\sqrt{2\pi}} \int_{m_y - 3\sigma_y}^{Y_{\text{доп}}} e^{-\frac{(Y - m_y(L))^2}{2\sigma_y^2(L)}} dy$$

Стойностите на интегралът, включен в изрази (12) и (13), се изчисляват чрез числени методи или с помощта на уравнения, апроксимиращи функцията на разпределение.

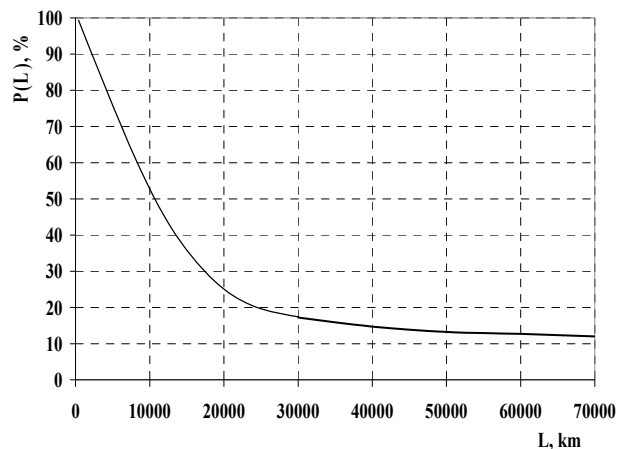
Въз основа на извършените изчисления се построява зависимостта  $P(L)$  и от нея се определя ресурса на детайла, т.е. такъв пробег, който съответства на вероятността за безотказна работа или на вероятността за отказ.

На фиг.6 графично е показана зависимостта на  $P(L)$ , като гама процентен ресурс във функция на пробег за дебелина на бандажа на колела от пътнически колооси.

Гама процентния ресурс на износване дебелината на бандажа рязко намалява при пробег над 15 000km.

В настоящия момент не съществува единствен профил (от подлежащите на сравнение), който да е еднакво подходящ за всички експлоатационни условия.

Изчисляването на процесите на износване и определянето на ресурса по горния метод ще позволи да се определи експлоатационният живот на частите и компонентите на ПЖПС, като се гарантират най-ниските разходи за материален труд за поддръжка и



Фиг. 6. Зависимост на вероятността за безотказна работа на контролирания параметър – дебелина на бандажа на колело от пътническа колоос във функция от пробег.



ремонт на пътнически вагони и подобряване на технико-икономическите характеристики на вагонното стопанство, което е задача от национално значение.

Технологичното износване (превърщането на метала в стружка по време на престъргване на бандажния профил на колелата от вагонни колооси) е около 50% от сумарното износване, следователно увеличаването на ресурса между престъргванията и намаляването на броя им, спомага за увеличаване на експлоатационния срок на работа на колоосите (бандажите).

Получените стойности на контролираните параметри на бандажа се различават от основния набор от данни, което се обяснява с ниската точност на измервателния инструмент, използван в момента в ремонтните депа. Възниква въпросът за необходимостта от създаване на устройство или инструмент, който позволява надеждни и точни измервания параметрите на бандажния профил.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Разработения математически модел, базиран на методите на теорията на вероятностите и математическата статистика, дава възможност да се изследва влиянието на различни фактори върху интензивността на износване на бандажите на вагонните колооси.

2. Теоретично и експериментално е установено, че случайната величина на контролирания параметър – дебелина на бандажа на колело от вагонна колоос, при фиксирана стойност на пробегата добре се описва от закона за нормално разпределение, което е следствие от закона за "големите числа".

3. На базата на разработения математичен модел са определени числени характеристики на разпределението на стойността на дебелината на бандажа на колелата от колооси на пътнически вагони от парка на Холдинг БДЖ „Пътнически превози” ЕООД. Връзката между тяхните математически очаквания и средно-квадратичните отклонения се определя от линейни регресионни уравнения. Коефициентите на зависимост се определят по метода на най-малките квадрати. Изведена е зависимост на вероятността за безотказна работа на контролирания параметър – дебелина на бандажа на колело от пътническа колоос във функция от пробегата. Гама процентния ресурс на износване дебелината на бандажа рязко намалява при пробег над 10 000km.

4. Посочено е необходимостта от последващи изследвания за оптимизиране профила на престъргване за железопътните колела от пътнически колооси за гарантиране ниски разходи на материал и труд при поддръжка и ремонт.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Димитров Ж., Надеждност на железопътна техника, София, 1988, с.350
- [2] Бояджиев В., Изследване на надеждността с оглед на модернизация на механичната част на сложен технически обект, Ел. списание "Механика Транспорт Комуникации" т. 13, бр.3/1, стат. № 1162, стр. П40-П45, 2015 г, ISSN N1312-3823.
- [3] Бояджиев В., Сравнително надеждностно изследване на резултатите от модернизацията на механичната част на сложен технически обект, Ел. списание "Механика Транспорт Комуникации" т. 15, бр.3, стат. № 1449, стр. П8-П12, 2017 г, ISSN N1312-3823.

- [4] Митрев Р. Приложение на вероятностно-статистическите методи за анализ и синтез на строителни, минни и подземно-транспортни машини и системи. Издателство „Пропелер“, София, 2021. ISBN: 978-954-392-669-5
- [5] Hoang Pham, *Statistical Reliability Engineering - Methods, Models and Applications*, Springer Nature Switzerland AG. 2022
- [6] Yousif M., J. Stow and A. Bevan, Use of railway wheel wear and damage predictions tools to improve maintenance efficiency through the use of Economic Tyre Turning, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit* · July 2018
- [7] Ненов Н., Моделиране, изпитване и диагностика на релсови транспортни средства, С., ВТУ, ISBN 978-954-12-0233-3, 2014 г., 314 с.
- [8] Николов В., Изследване на локомотивни колооси като фактор за безопасността на движението в железопътния транспорт – ВТУ „Т.Каблешков“, Монография, 2021, 122 с.
- [9] Bizic M., Petrović D., Tomić Z., Miloš C. and Djinović Z., Development of method for experimental determination of wheel–rail contact forces and contact point position by using instrumented wheelset, *Meas. Sci. Technol.* 28 (2017)
- [10] БДС EN 13262:2020/A1:2022 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels - Product requirements, 2022
- [11] V.J. Matjeke, J.W. van der Merwe, M.J. Phasha, A.S. Bolokang and C. Moopanar, Effect of yield strength on wear rates of railway wheels, *The Journal Mining and Metallurgy*, V116, October 2016, pp 947-955
- [12] Горский А. В., Буйносов А. П. Анализ износа бандажей. // *Железнодорожный транспорт*. – 1991. №1. – С.46-47
- [13] Буйносов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Монография. – Екатеринбург: Изд. УрГУПС, 2010 – 223 с.
- [14] Буйносов А.П., Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. — М.: ISBN 978-5-9994-0038-3, 2010. — 224 с.
- [15] Митрев Р. Компютърно моделиране и симулация. Дискретни стохастични системи. Пропелер, София, 2021. ISBN 978-954-392-668-8.
- [16] Stoilova S., Pop-Andonov, G., Study of railway transport using correlation and regression analysis *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, Volume 2008-October, 2018, pp.615-622, 22nd International Scientific on Conference Transport Means 2018; Lithuania; 3 October 2018 through 5 October 2018; Code 140271, ISSN 1822-296X (print); ISSN 2351-7034 (on-line)
- [17] Инструкция за вагонни колооси, ДП „НКЖИ“, 2012

# METHOD FOR CALCULATING RESOURCE OF WEAR OF RAILWAY WHEELSETS OF PASSENGER WAGONS

Vanio Ralev, Dobrinka Atmadzhova  
[vanio.ralev@gmail.com](mailto:vanio.ralev@gmail.com), [atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev str. Sofia,  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *passenger wagons, wheelsets, wheels, wear, resource.*

**Abstract:** *Wagon wheelsets, as elements of the running part of the rolling stock (Rolling Vehicle), are the main and responsible parts for ensuring a reliable and safe transport process. The design, material, production technology, quality of repair, control of the condition of the track axles largely depend on the safety of the movement of trains, the smoothness of the course, the magnitude of the forces in the interaction with the rail track and the resistance to movement.*

*The construction, basic dimensions and technical conditions and requirements for production, repair and control of their technical condition in operation are determined by the state standards of individual countries, international regulations and agreements. A number of models have been created to theoretically and experimentally determine the strength and durability of Rolling Vehicle. There is a need to study the resource of passenger wagon wheels regarding the wear of the tire profile.*

*During operation, the values of the controlled parameters are change, which characterize the process of wear of parts of the road transport system. For example, the controlled parameters are the value of the tire thickness, the thickness and height of the flange from the wheels of the wheelset, etc. A starting point for solving this problem is the ability to determine the resource of wagon wheels at all stages of the life cycle. For this, theoretical calculation methods are used and improved in combination with improvement of diagnostic methods and service technology.*