

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ИЗНОСВАНЕТО ПРИ КОНТАКТНОТО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ „КОЛЕЛО-РЕЛСА“

Методи Атанасов

metodi8atanasov@abv.bg

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

***Ключови думи:** Железен път, „колело-релса“, износване, сигурност*

***Резюме:** В доклада са описани видовете износване по релсите и техните гранични стойности на износване. Разгледани са уредите за определяне на износването на релсите и използваните софтуерни продукти в съвременната железопътна система. Показан е симулационен модел с различен тип геометрия на релсовия път и е проследено износването при взаимодействието „колело-релса“ в конвенционалната железница. Основната цел на изследването е да се анализира износеното състояние на релсовия профил при преминаване на определен брой цикли на натоварване. Прилагането на софтуерна симулация предоставя възможност за комплексно разглеждане на взаимодействието „колело-релса“ в практиката.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

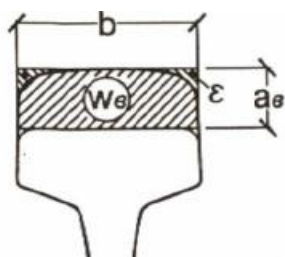
Взаимодействието между подвижния състав и железния път се осъществява в зоната на главата на релсата, където възникват високи контактни напрежения. С нарастване на броя на циклите на натоварване и с въздействието на други фактори се променят физико-механическите и геометрични характеристики на релсовия профил. Натрупването на тези неизправности по железния път води до нарастване на динамичните сили, което е предпоставка за възникване на инциденти и нарушаване на безопасността на движението. Необходимо е добро познаване и изследване на влиянието на износване на релсовия профил при контакта „колело-релса“ за да се откриват и предотвратяват стойности на недопустими износвания, които застрашават сигурността на движението.

Износването на релсовото сечение намалява инерционния и съпротивителен момент на релсата по отношение на хоризонталната ѝ ос, което оказва неблагоприятно отражение в релсите и другите елементи от пътя. Определянето на допустимото износване на даден тип релси зависи от осовото натоварване, максималната скорост и разстоянието между траверсите. Вследствие от натрупаното товаронапрежение се явява необходимост от наблюдение развитието на износването в релсовия профил, което освен чрез визуален контрол се следи и със специални уреди. По този начин се проследява влиянието на голям брой цикли на натоварване към степента на износването на релсовия профил път и достигането на допустимите гранични стойности.

2. ВИДОВЕ ИЗНОСВАНЕ НА ГЛАВАТА НА РЕЛСАТА

2.1. Вертикално износване

Вертикалното износване на главата на релсата a_g се измерва в средата на главата на релсата. Наблюдава се предимно в правите участъци от пътя и при криви с големи радиуси. Според Dr. Bernhard Lichtberger [1] това износване е от порядъка на 0,7 – 1,0 mm за 100 млн. тона преминал товар.



b – ширина на главата;
 a_g – вертикално износване;
 w_g – площ на износеното сечение;
 $\varepsilon = (50 \div 70)mm$ – площта, която е в ъглите на сечението;

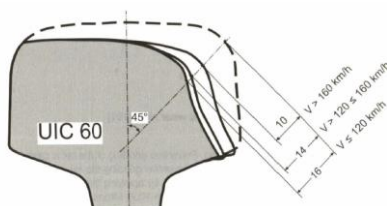
Фиг. 1 Вертикално износване на главата на релсата [2]

$$(1) \quad w_g = b \cdot a_g - \varepsilon, [mm^2].$$

Максималното допустимото вертикално износване зависи от категорията на жп линиите, вида на релсите, максималната скорост на движение на влаковете и преминалия товар. Това износване не трябва да достига размер, при който ребордите на колелата да удрят по връзките и болтовете на наставите. Максималното допустимо вертикално износване по този критерий за релси UIC60 (60E1) с височина на главата 37,5 mm е $a_g = 22mm$ [3].

2.2. Странично износване на главата на релсата

Страничното износване на главата на релсата се измерва на 14 mm от горния ръб на релсата и то под 45°. То се появява предимно в криви и зависи от наличното с вертикално износване на главата. Максимално допустимото странично износване на главата на релсата е достигнато тогава, когато ъгълът на износената странична плоскост спрямо хоризонталната, изтеглена през долния ръб на главата на релсата, достигне 60°.



Фиг. 2 Максимално допустимо странично износване [1]

Максималното допустимо странично износване без вертикално износване за релси UIC60 (60E1) е $a_c = 1mm$ [3].

Страничното износване зависи от радиуса на хоризонталните криви като се отчита специфичното износване $\beta(R)$. При хоризонтални криви с малки радиуси то достига 3÷4 пъти по-големи стойности в сравнение с износването в права.

Определянето на прогнозната стойност на специфичното износване за определени участъци от железопътната мрежа е препоръчително да се извършва периодично чрез конкретни наблюдения и измервания на експлоатационното състояние на железния път.

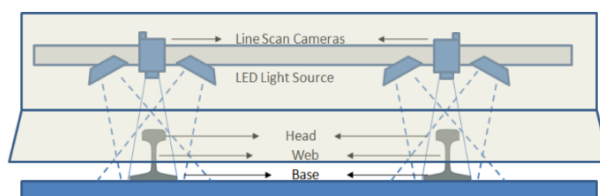
3. УРЕДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ИЗНОСВАНЕТО НА РЕЛСИТЕ

Вертикалното и странично износване на релсите се измерват и преценяват отделно, но те са зависими едно от друго. Измерването се извършва с профилограф, конструкцията на който се одобрява от ДП „НК ЖИ” [3]. Определя се общото износване и ъгълът на износената странична плоскост спрямо хоризонталната ос.



Фиг. 3 Определяне на износването с профилограф

В световната практика за пълно и комплексно измерване на железния път се използват сканиращи лазерни камери, монтирани на пътеизмерителна лаборатория или на подвижна тележка.



Фиг. 4 Лазерно сканиране на железния път [4]

С помощта на лазерното сканиране на железния път се събират и обработват изображения, които показват компрометиран или липсващи елементи, дефекти по релсите, износване на главата на релсата в определени участъци, междурелсието и други неизправности на железния път. Създава се 3D визуализация на релсовия профил, която се използва за по-задълбочен анализ на износването при взаимодействието „колело-релса“.

4. ВИДОВЕ СОФТУЕРНИ ПРОДУКТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИЧНОТО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖЕЛЕЗНИЯ ПЪТ И ПОДВИЖНИЯ СЪСТАВ

Проучени са някои от водещите софтуерни продукти в световната практика, които предлагат широк спектър от симулиране на различни видове железопътни возила, състояние на железния път, изследване на дерайлирането и износването при взаимодействие „колело-релса“.

4.1. UNIVERSAL MECHANISM

Програмата Universal Mechanism [5] се използва за симулация на кинематични и динамични равнинни и пространствени механични системи. Софтуерът е разработен в лабораторията на държавния технически университет в град Брянск, Русия и е насочен към инженерите от практиката, преподаватели и студенти. Разделен е на различни системни модули, които обхващат целият проектантски процес от моделирането на подвижния състав и геометрията на железния път до изследването на износването при взаимодействието „колело-релса“.

4.2. VAMPIRE

Vampire [6] е динамичен железопътен софтуер, с който може да се изгради модел на взаимодействието „колело-релса“ и да се оцени на практика всеки елемент от

динамичното поведение на системата. Софтуерът предлага възможност на потребителя да редактира и добавя свой алгоритми към програмата, като по такъв начин не се ограничават възможностите за работа с програмата.

С този софтуер е възможно да се изследва и дерайлирането, като се отчита покачването на колелото над релсата, междурелсието, състоянието на подвижния състав и железния път.

4.3. VI – RAIL

VI – Rail [7] е инженерен софтуер за симулация на вагони и локомотиви, а също така и за железен път. В програмата се извършва симулация по кинематичен, статичен и динамичен метод, където получените резултати се използват за определяне на устойчивостта на пътя, безопасността срещу дерайлиране, влиянието на натоварването върху пътя, комфорта на пътниците, преминаването през стрелковите устройства и т.н.

В софтуера са внедрени значителни подобрения при визуализацията на контактните точки при взаимодействието „колело-релса“ и оценката на еквивалентната коничност според формулата на Klingel [8].

5. СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ИЗНОСВАНЕТО НА ГЛАВАТА НА РЕЛСАТА

Използван е студентски лиценз за академична цел на софтуерен продукт Universal Mechanism 8 [5], с който е създаден симулационен модел на взаимодействието „колело-релса“ и е проследено износването на главата на релса тип UIC60. Износването е изчислено съгласно Specht model. Този модел използва линейни зависимости между големината на износването и възникващите сили при движение. Състои се основно в две части: площ на нормално износване и площ на интензивно увеличаване на износването на главата на релсата.

$$(2) \quad \begin{aligned} I &= k_v \cdot A \quad , w < w_{cr} , \\ I &= k_v \cdot \alpha \cdot A \quad , w \geq w_{cr} , \end{aligned}$$

където: I - големината на износването [m^3]; k_v - фактор на големината на износването [m^3 / J]; A - работата на триене [J]; w - силата на триене [W / m^2]; w_{cr} - критичната сила на триене [W / m^2]; α - коефициент на покачване на колелото.

5.1. Създаване на модел

Симулира се подвижен състав с колооси тип S1002, с който се осъществява динамичното натоварване на железния път с заложените характеристики и коефициенти. В железния път са създадени вертикални и странични неравности с цел максимално доближаване до реален експлоатационен път, при който износването на главата на релсата се увеличава вследствие на възникващите допълнителни динамични сили.

Моделирани са три основни случая на взаимодействието „колело-релса“ в криви с радиус 300 m., 600 m. и 800 m. За всеки един от случаите са зададени различни стойности на скоростта съответно за кривата с $R=300$ m. – 13 m/s. За кривата с $R=600$ m. – 15, 18, 21 m/s, а за кривата с $R=800$ m. – 18, 20, 23 m/s.

Изследван е релсов профил тип UIC60 с неговите геометрични стойности и характеристики. Целта на изследването е да се проследи износването на главата на релсата при криви с различни радиуси и преминал товар.

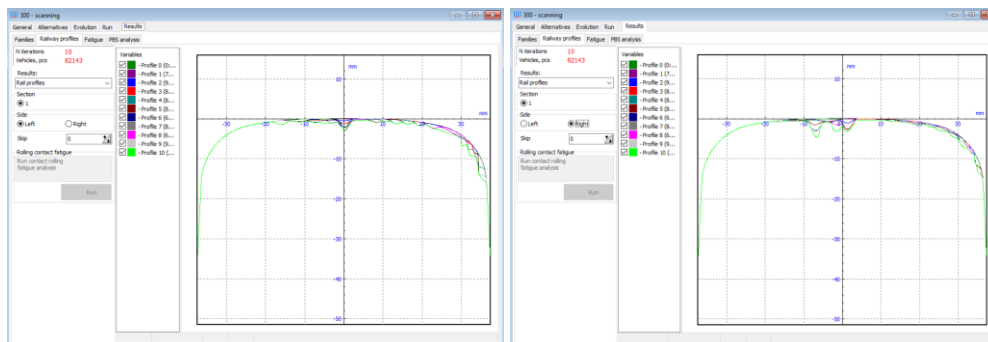
Избраната дължина на симулирания железен път е 300 m., която е достатъчна за това изследване. Приет е коефициент на триене 0,25 в крива.

Изчисляването на износването на главата на релсата е сложен инженерен процес, който се осъществя след множество итерации, които софтуерния продукт

извършва на база зададени критерии за подвижен състав, геометрия на железния път, релсовия профил и радиус на кривата.

5.2. Резултати от изследването

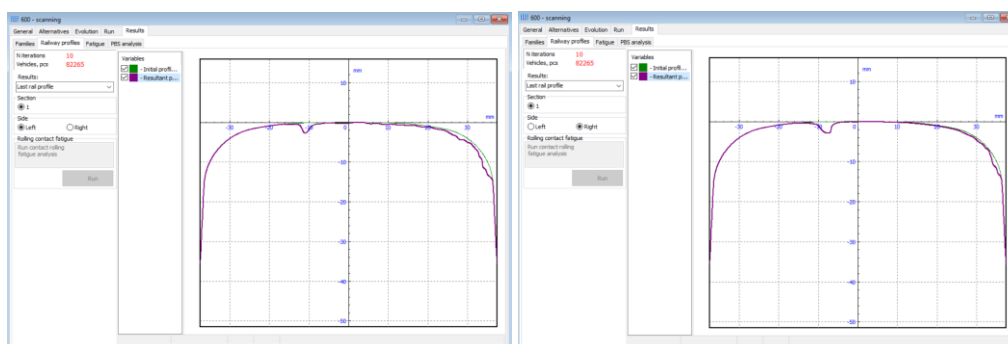
Износвания на главата на релса UIC60 при хоризонтална крива с $R=300$ m. и преминали 82 143 жп возила, което се равнява на приблизително 3 млн. бр. t. преминал товар:



Фиг. 5 Износвания на левия и десния релсов профил при крива с $R=300$ m.

Абсцисите и ординатите са в милиметри. На фиг. 5 първият цвят линия отговаря на първоначалния релсов профил, а останалите линии са очертание на контура на износване на главата на релсата през определен брой натоварвания на железния път.

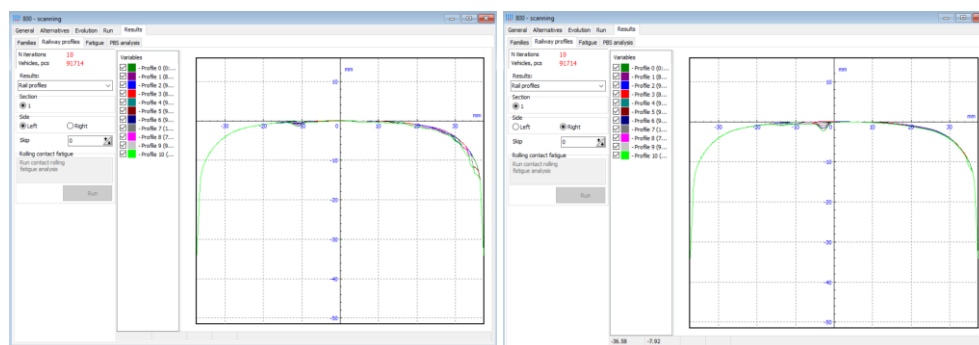
Износване на главата на релса UIC60 при хоризонтална крива с $R=600$ m. и преминали 82 265 жп возила, което се равнява на приблизително 3 млн. бр. t. преминал товар:



Фиг. 6 Износване на левия и десния релсов профил при крива с $R=600$ m.

На фиг. 6 е показан началният релсов профил и крайното очертание на износване на релсата тип UIC60.

Износвания на главата на релса UIC60 при хоризонтална крива с $R=800$ m. и преминали 91 714 жп возила, което се равнява на приблизително 3.5 млн. бр. t. преминал товар:



Фиг. 7 Износвания на левия и десния релсов профил при крива с $R=800$ m.

На фиг. 7 първият цвят линия отговаря на първоначалния релсов профил, а останалите линии са очертаване на контура на износване на главата на релсата през определен брой натоварвания на железния път.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показания в доклада симулационен модел дава възможност за анализ на износването при взаимодействието „колело-релса“ с отчитане на влошеното състояние на железния път. При изследването на износването при радиус на кривата $R=300$ m. се наблюдава най-голямо отклонение от първоначалния релсов профил и за двете релсови нишки. Износването на релса UIC60 при крива с $R=800$ m. е значително по-малко въпреки по-големия обем на преминалия товар. Стойностите на износване на главата на релсовите профили при трите типа хоризонтални криви са в диапазона 2-2,5 mm при 3 млн. бр. t. преминал товар, което е в допустимите граници. Възможно е да се извлекат и други подобни резултати при комбиниране на различни видове релсови профили и геометрия на релсовия път.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Lichtberger В., “Track Compendium”, Eurailpress Germany, Hamburg, 2005
- [2] Денчева З., „Горно строене и поддържане на железния път“ София, 2014
- [3] Инструкция за устройство и поддържане на горното строене на железния път и железопътните стрелки, София, 2010
- [4] Shah M., “Automated visual Inspection/Detection of railroad track”, July, 2010
- [5] <http://www.universalmecanism.com>
- [6] <http://www.vampire-dynamics.com>
- [7] <https://www.vi-grade.com>
- [8] UIC Code 519: Method for determining the equivalent conicity, International Union of Railways, 1 st ed., Paris, December, 2004

RESEARCH THE INFLUENCE OF THE WEAR ON INTERACTION „WHEEL-RAIL“

Metodi Atanasov
metodi8atanasov@abv.bg

*Todor Kableskov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

Key words: *Railway, wheel-rail, wear, safety*

Abstract: *The report describes the types of wear of the rails and their wear limits. There is a review made of the devices and software products for determining the wear of the rails in the modern railway system. It is shown a simulation model with a different geometry type of track and the wear on interaction "wheel-rail" is examined in the conventional rail system. The main aim of the study is to analyze the worn profile of the rails when passing a fixed number of load cycles. The application of software simulation provides an opportunity for a complex examination on interaction "wheel-rail" in practice.*