

ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПРИНОСИ НА НАШАТА СТРАНА ОТНОСНО СИГУРНОСТТА СРЕЩУ ДЕРАЙЛИРАНЕ НА ПОДВИЖЕН ЖЕЛЕЗОПЪТЕН СЪСТАВ

Добринка Атмаджова
atmadzhova@abv.bg

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

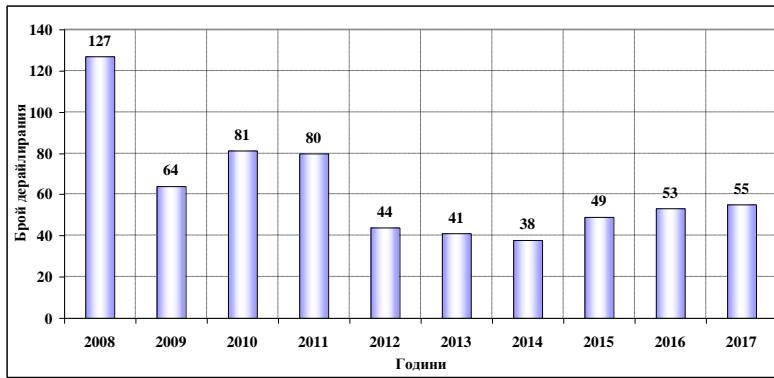
***Ключови думи:** Подвижен железопътен състав, безопасност, дерайлиране.*

***Резюме:** Аварии и катастрофите в железопътния транспорт, причинени от дерайлиране на железопътния подвижен състав, винаги и навсякъде по света са съставлявали най-висок дял от всички железопътни инциденти. Опитът, изследванията и приносите на нашата страна респ. Научноизследователският институт по транспорт към БДЖ, за избягване или намаляване на случаите на дерайлиране на железопътния подвижен състав се отнасят преди всичко за експлоатационни скорости до максимално допустимите. Опитът от експлоатация в БДЖ и проведените изпитвания от НИИТ показват, че част от железопътните возила са застрашени от дерайлиране при експлоатационни скорости вследствие на особено интензивни хоризонтални трептения, получени обикновено при резонансен режим. Обекти на настоящото изследване са предимно вагони-прототипи в първоначално изпълнение като двуосови товарни вагони от различни типове с база от 4 т до 6 т; четиросов пътнически вагон за междурелсие 760 тт; открит товарен саморазтоварващ се вагон тип Eads и специализиран саморазтоварващ се вагон за въглища тип Falns. Посочват се направления за създаване на нови по-съвършени конструкции и технологии относно повишаване сигурността срещу дерайлиране на ПЖПС. Новите конструкции обхващат предимно талигите и рамата на вагоните, и се изразяват в модернизация на същите през последните десетилетия и въвеждане на нови изисквания за построяването и ремонта им.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Аварии и катастрофите в железопътния транспорт, причинени от дерайлиране на подвижния железопътен (ПЖПС), винаги и навсякъде по света са съставлявали най-висок дял от всички жп инциденти (във всички случаи над 50% и достигащи дори до 80-90%).

На фиг.1 са показани броят на дерайлиранятията на ПЖПС по години от 2008 до 2016 г., по статистически данни от годишни доклади за безопасност на Изпълнителна агенция „Железопътна администрация” [1].



Фиг. 1 Брой дерайлирания на ПЖПС по години от 2008 до 2017 г.



Фиг. 2 Видове дерайлиране за 2017 г.

През 2017 г. в България продължава тенденцията за повишаване на броя дерайлирания (55 бр. в сравнение с 38 бр. за 2014 г.). На фиг. 2 е дадено процентното разпределение по видове дерайлиране за 2017 г.

Последиците от дерайлиране на ПЖПС са непредвидими, особено при превоз на опасни товари. Пораженията могат да бъдат изключително големи както за инфраструктурата, така и за населението, като е възможно да включват и огромен брой човешки жертви. В подобни случаи отделно може да се говори за екологичните последици от замърсяване на околната среда.

В България през 2016 г. е регистрирано едно значително произшествие при железопътен превоз на опасни товари. Първичното произшествие е „дерайлиране на влак“, последвано от „пожар на ПЖПС“ и „взрив, при който са изпуснати опасни товари“. Дерайлирането е регистрирано в 05:37 ч. на 10.12.2016 г. при преминаване на товарен влак № 90570 през стрелка №5 към коловоз №3 в гара Хитрино. При произшествието са убити 7 и ранени – 28 човека. В резултат на възникналия пожар и мощен взрив много къщи и обществени сгради в село Хитрино са напълно разрушени. Причинени са значителни щети на железопътната инфраструктура и ПЖПС [1,2].

2. ОПИТЪТ, ИЗСЛЕДВАНИЯТА И ПРИНОСИТЕ НА НАШАТА СТРАНА

Изследванията на Научноизследователския институт по транспорт (НИИТ) към БДЖ, за избягване или намаляване на случаите на дерайлиране на железопътния подвижен състав, се отнасят преди всичко за експлоатационни скорости до максимално допустимата +10%. Значимостта на дерайлирането при експлоатационни скорости не е по-малка отколкото при ниски.

Опитът от експлоатация в БДЖ и проведените изпитвания от НИИТ показват, че част от железопътните возила са застрашени от дерайлиране при експлоатационни скорости вследствие на особено интензивни хоризонтални трептения, получени обикновено при резонансен режим. Тези трептения са широко известните “напречно люлеене”, т.е. въртеливи трептения около надлъжната ос и “лъкатушене”, както и т. нар. “усукващи трептения”, представляващи в най-ярко изявената си форма въртеливи трептения на двете талиги (заедно с предната и задна части на коша) около надлъжната ос x с взаимно противоположни фази, при което кошът на возилото се усуква.

2.1. Двусови товарни вагони от различни типове с база от 4 m до 6m

Тези вагони бяха в експлоатация у нас и в други европейски страни и, имаха конструктивна скорост **60 km/h**. В рамките на СИВ/ОСЖД с код VA 13-5/1964 бе заложена за разработване международна тема под ръководството на нашата страна респ. НИИТ-БДЖ, целта на която бе разработване на технически решения за

модернизация с оглед да се отговори на изискването на UIC за повишаване конструктивната скорост на тези вагони на **80 km/h**. Тези вагони дерайлираха масово при различни скорости, въпреки че максимално допустимата беше все още **60 km/h**.

Получените резултати от изпитванията на непреустроените вагони са твърде различни, но съществуват и някои общи тенденции и зависимости, като например:

а) Вагоните, които не удовлетворяват изискванията за конструктивна скорост **80 km/h**, показват при изпитванията в скоростния интервал **60 ÷ 90 km/h** недопустими (надкритични) стойности на критериите предимно за хоризонтална динамика¹: за дерайлиране H/Q_1 ; за устойчивостта на релсовия път $H \leq 0,85(1 + Q_0/3)$, tf или $H/(1 + Q_0/3) \leq 0,85$; за плавността на хода по Шперлинг W_z^h [3] и интензивни хоризонтални трептения, между които най-ярко изразени и с най-голяма интензивност са хоризонталните въртеливи трептения на коша около вертикалната ос z , т. нар. „лъкатушене на коша”.

б) Хоризонталните въртеливи трептения на коша около вертикалната ос протичат в пълно фазово съответствие с хоризонталните отклонения на колоосите от оста на пътя [4], т.е. с лъкатушенето на колоосите.

в) Лъкатушенето на колоосите и въртеливите трептения на коша около вертикалната ос протичат в синхрон и адекватна взаимовръзка както помежду си, така и с другите едновременно регистрирани динамични величини – общо над 20 бр. [3].

г) Съществува зависимост между дължината на вълната на лъкатушенето (на колоосите и коша) L [m] и скоростта V [km/h] [4], която се изразява аналитично с емпиричната формула $L = 0,354.(V - 36)$, m, получена при обработката на първичните опитни данни по метода на Гаус, а от друга страна, честотата ν [Hz] и периодът T [s] се изменят незначително [4] в зависимост от скоростта V , по формулата $T = 1/\nu = 1,28(1 - 36/V)$, T [s], ν [Hz], при $L = T.V/3,6$, m.

Решаването на проблема за повишаване на конструктивната скорост се търси в увеличаване дължината на ресорните обеци и на вътрешното триене на същите, или с други думи – преминаване от съществуващите единични плоски обеци с дължина **100 – 120 mm** без гарантирано вътрешно триене към двойни правоъгълни обеци с дължина **288 mm** и евентуално единични такива с дължина **165 mm** (за вагоните с база над **5 m**) с гарантирано вътрешно триене. При съпоставката на получените от изпитванията резултати за преустроените вагони от единични плоски обеци на по-дълги двойни правоъгълни обеци показателят за плавността на хода в хоризонтално направление се подобрява с **2** единици, а хоризонталната H -сила на колоосите се намалява **1,5 – 2** пъти по максимални стойности и **~ 4** пъти по медианни стойности [5].

2.2. Четириосов пътнически вагон за междурелсие 760 mm.

Серията четириосови пътнически за междурелсие **760 mm** вагона са произведени от В.З. Дряново през 1968 – 1969 г., по документация на Базата за развитие и внедряване (БРВ) към БДЖ и са пуснати в експлоатация веднага без изпитвания. Но още от началото дерайлират многократно. Дерайлиранията са при скорости **30 – 45 km/h** в криви при добро състояние на железния път с релси тип РПШ **31 kg/m** при шахматно разположение на наставите.

При проведените изпитвания от НИИТ през 1970 г. са установени интензивни трептения „напречно люлеене“ с честота **~ 1 Hz** в резонансен или близък до резонансния режим, причиняващи почти пълно разтоварване на атакуващите колела от

¹ Всички критерии и величини за оценка са дадени съгласно действащите в момента норми. Например в критерия H/Q_1 с H е означена рамната сила, а с Q_1 – силата върху буксата към атакуващото колело; в критерия $H \leq 0,85(1 + Q_0/3)$ или $H/(1 + Q_0/3) \leq 0,85$, всички сили са в тонове (tf), а Q_0 е колоосното натоварване.

вертикална сила. Затова допринасяха също шахматното разположение на релсовите настави и липсата на гарантирано демпфиране в ресорната система на вагоните.

Вагоните са преустроени със смяна на централните лагери, страничните опори и ресорите, и са монтирани фрикционни демпфери. При изпитванията те показват добри динамично-ходови качества в криви и в прави до **70 km/h** с гарантирана, при достатъчен резерв, сигурност срещу дерайлиране, прекатурване и др. [5].

2.3. Открит товарен саморазтоварващ се вагон тип Eads.

Производството на този тип вагон (саморазтоварващ се открит с подови клапи) започва от 1957 г. и в продължение на 12 години ВЗ Бургас към БДЖ произвежда многохилядна серия по чехословашка документация.

Още в началния период на експлоатация в БДЖ вагоните показват масови дефекти – пукнатини в рамата, главно в гръбначната греда и напречните греди, като след 5 години около **2000** бр. са спрени от експлоатация за ремонт.

Проведените изпитвания от НИИТ през 1965 г. показват, че в рамата на вагона и най-вече в гръбначната и напречните греди се пораждаат изключително високи динамични напрежения с динамичен коефициент $k_d = \sigma_{дин}/\sigma_{стат}$, превишаващ **1-ца** (дори най-високата му получена стойност е **2,08**), които при скорости над **75 – 80 km/h** започват интензивно да нарастват, и достигайки максимални стойности в резонансния режим при скорост \approx **100 km/h**.

Основната компонента на високите динамични напрежения са секториалните нормални напрежения от стеснено усукване, възникващи при усукващи трептения на вагона в близък до резонансния режим. За настъпване на резонанс при хоризонтални трептения, изключително важно е, че **интензивността и характера на проявлението му извънредно силно зависят от съотношението между дължината на вълната L и базата на вагона $2l$, т.е. от $L/2l$** , като при усукващи трептения и „лъкатушене“ интензивността силно нараства при $L/2l = 2$. При „напречно отнасяне“ интензивността нараства, ако $L/2l \approx 1$, а при „напречно отнасяне“ и/или напречно люлеене интензивността може слабо да се увеличи, ако $L/2l > 2$.

2.4. Специализиран саморазтоварващ се вагон със седловиден под за превоз на въглища и други насипни товари, тип Falns

Производството на този вагон от вагоностроителния завод в Бургас започна от 1979 г., като преди това усвояването му премина през задължителните изпитвания на опитния образец, при които са регистрирани интензивни усукващи трептения с честота **1,72 Hz** с изключително големи амплитуди и високи динамични напрежения при скорост \sim **100 km/h**. Застрашените елементи са главно напречните греди на рамата в местата на връзките (заварките) им със страничните надлъжни греди. Произходът на тези напрежения е главно от хоризонтално огъване в упоменатите връзки, което се получава при цикличното усукване на целия кош (заедно с рамата).

С цел избягване на резонанса при усукващите трептения е увеличена усукващата коравина на коша със заваряване на усилващи елементи към рамата.

3. НАПРАВЛЕНИЯ ОТНОСНО ПОВИШАВАНЕ СИГУРНОСТТА СРЕЩУ ДЕРАЙЛИРАНЕ НА ПЖПС

По проблемите за дерайлиране на железопътния подвижен състав се отделя голямо внимание в научно-техническите разработки от специалисти главно по ПЖПС и железния път при създаване в тези направления на нови по-съвършени конструкции и технологии, като:

а) новите технологии са насочени главно към поддържане на железния път с внедряване на научно обосновани норми за допустимите отклонения на железния път съгласно UIC-ERRI B55 RP 1÷8 и др.;

б) новите конструкции обхващат предимно ходовата част и рамата, и се изразяват в модернизация на същите и въвеждане на нови изисквания за построяването и ремонта им, като например:

- **въведени са масово по предписания на UIC за всички новостроящи се товарни вагони ресорни системи с билинейни характеристики**, благодарение на които значително е повишена сигурността срещу дерайлиране в празно и слабо натоварено състояние чрез увеличаване на статичното провисване върху ресорите при тези състояния;

- **въведени са по предписания на UIC еластични странични плъзгалки (опори)** за онези серии новостроящи се товарни вагони, които при изпитванията са показали за характеристиката “коравина на усукване” високи стойности, представляващи опасност за дерайлиране при ниска скорост вследствие действието на недопустими кососиметрични сили;

- за новостроящия се ПЖПС и предимно за вагоните в международни съобщения **са въведени по изискванията на UIC редица задължителни изпитвания**, между които и такива, предназначени за повишаване сигурността срещу дерайлиране. Това са изпитванията за определяне коравината на усукване на возилата и на статичното натоварване на колелата им върху релсите. Целта на тези два вида изпитвания е намаляване на разтоварването от вертикална сила на колелата върху релсите;

- за новостроящи се талиги - **конструиране и внедрение на радиални талиги**. При продължителните експлоатационни изпитвания на талигите T73-ADR са получени резултати, които включват в себе си по-добри динамични показатели, особено по отношение на хоризонталната динамика; около **3** пъти по-малък ъгъл на атака при вписване в криви, който не превишава измерените **1,5 mrad** в криви с радиус **250-300 m**, а също така с намалената интензивност на износване на бандажите – осредненото износване **S_a** и **q_r** по лимитиращи максимални стойности – **0,7÷0,8 mm** на **100 000 km**, а по средни стойности – **0,3÷0,4 mm** на **100 000 km** [6].

Системата за безопасност представя в обобщен вид оценката и управлението на опасностите. Нивото на оценка на системата за безопасност зависи от риска, произтичащ от промените [7].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на резултатите от изпитванията на различните конструкции се налага изводът, че голямата интензивност на хоризонталните трептения е определена от високата стойност на коравината на ресорната система, главно, в хоризонтално напречно направление. Установява се, че динамичните качества в хоризонтално направление, както за непреустроените, така и за преустроените вагони - двусови товарни вагони, не се влияят съществено от вида на пътните отсечки (прави или криви с различни радиуси). Същото се отнася и за състоянията на вагоните – в празно или натоварено положение. За настъпване на резонанс при хоризонтални трептения за открит товарен вагон тип Eads интензивността и характера на проявлението му извънредно силно зависят от съотношението между дължината на вълната и базата на вагона. При товарните вагони тип Falns са регистрирани интензивни усукващи трептения с честота **1,72 Hz**, с изключително големи амплитуди и високи динамични напрежения при скорост **~ 100 km/h**, при което значително нараства стойността на динамичния коефициент.

Посочват се направленията за създаване на нови по-съвършени конструкции и технологии относно повишаване сигурността срещу дерайлиране на ПЖПС.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Годишен доклад за безопасност за 2016 г. на Националния орган за безопасност на Република България, Септември 2017 г. <http://www.iaja.government.bg>
- [2] Скробански Б. ОКОНЧАТЕЛЕН ДОКЛАД от техническо разследване на железопътно произшествие – дерайлиране на товарен влак No 90570 на стрелка No 5 при влизане в гара Хитрино на 10.12.2016 г., www.mtitc.government.bg
- [3] Пенчев Ц., Ламбиев А., Василев С. Ходови качества на различни конструкции двуосни товарни вагони. Бюлетин ЦНИРД ДСО „БДЖ”, бр. 1-2, С. 1971.
- [4] Пенчев Ц., Ламбиев А., Василев С. Фактори, ограничаващи скоростта на намиращите се в експлоатация на БДЖ двуосни товарни вагони. Бюлетин ЦНИРД ДСО „БДЖ”, бр. 1, С. 1973.
- [5] Пенчев Ц., Пеев С., Скабрин Г. Експериментални изследвания на процеса на дерайлиране чрез възпроизвеждането му в близки до експлоатационните условия на жп возила. Бюлетин ЦНИРД ДСО „БДЖ”, бр. 1-2, С. 1971.
- [6] Пенчев Цв., Атнаджова Д. Анализ на причините за интензивно износване на ребордите за пътнически вагони от парка на БДЖ, Електронно списание “Механика Транспорт Комуникации“ бр. 1, 2003, BG-2.19-2.29, <https://mtc-aj.com>
- [7] Николов, В. Фактори, влияещи върху безопасността в железопътния транспорт. , "Машины, технологии, материали - международно виртуално списание", бр. 8-9, 2010.

RESEARCH AND SCIENTIFIC CONTRIBUTIONS OF OUR COUNTRY CONCERNING SECURITY AGAINST DERAILMENT OF ROLLING STOCK

Dobrinka Atmadzhova
atmadzhova@abv.bg

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

Key words: *Rolling stock, safety, derailment.*

Abstract: *Railway accidents and accidents caused by derailment of railway rolling stock, always and everywhere in the world, account for the highest share of all rail incidents. The experiences, research and scientific contributions of our country, respectively, the Transport Research Institute of BDZ, to avoid or reduce the cases of derailment of the railway rolling stock relate primarily to operating speeds to the maximum permissible. The experience of the BDZ and the tests carried out by the Scientific Research Institute for Transport (SRIT) show that some of the railway vehicles are at risk of derailment at operating speeds due to particularly intense horizontal oscillations normally obtained in resonant mode. Objects of the present study are mainly wagons prototypes in the first embodiment, such as: two-axle freight wagons of different base types from 4 m to 6 m; four-axle wagon for gauge 760 mm; open-cargo freight wagon type Eads; open rail wagon for track gauge 760 mm and specialized hopper Coal type Falns. Indicate directions for creating new, more sophisticated constructions and technologies to increase security against derailment of rolling stock. The new constructions cover mainly bogies and the frame of the wagon and consist of the modernization of the same in recent decades and the introduction of new requirements for their construction and repair.*