

## ДЕРАЙЛИРАНЕ НА ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ ВСЛЕДСТВИЕ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛНО ПОДСКАЧАНЕ ИЛИ ПРОПАДАНЕ НА КОЛЕЛАТА ОТ ЕДНАТА СТРАНА

Емил Михайлов  
[emm\\_1968@abv.bg](mailto:emm_1968@abv.bg)

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,  
София, ул. “Гео Милев” 158,  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** трамвайна моториса, коловоз, трамваен релсов път, улейни релси, талиги, колооси, дерайлиране

**Резюме:** Този материал представя проучване на дерайлирането на трамвайни моториси в следствие на последователно рязко подскачане или пропадане на колелата от едната страна при движение по вграден коловоз изграден с улейни релси. Разглеждат се случаите: Последователно подскачане на левите или десните колела на талигата в следствие на наличието на чуждо тяло в улея на релсата, чиито размери са съпоставими с размера на улея. Последователно рязко пропадане на левите или десните колела на талигата когато има скъсана релса, чието пропадане е съпоставимо с размера на главата на релсата. Статистиката показва, че не винаги при тези дефекти по пътя настъпва дерайлиране. Същевременно при дерайлиране следите оставени по пътната настилка показват особено поведение на талигата при дерайлирането. За установяване на причините е проведено изследване на поведението на трамвайна талига при последователно подскачане на колелата от едната ѝ страна. Направено е измерване на ускоренията над първо дясно колело на трамвайна талига Т 81 като е предизвикано подскачане на десните колела чрез „клин за контролирано дерайлиране”. Резултатите показват, че при подскачане на второто колело в рамата на талигата над първото колело стойностите на ускоренията по вертикалната и напречната ос са 2 до 3 пъти по-големи. Също така измерените стойности на ъгловата скорост по напречната ос следват същата тенденция. Това дава основание да се заключи, че настъпва дерайлиране при съвпадане на максималните стойности на ускоренията и напречната ъглова скорост.

### 1. УВОД

Както в класическата железница, така и при трамвайния транспорт дерайлирането е извънредно произшествие. При трамваите, предвид особеностите на средата, има допълнителни фактори, което води до разнообразие от причини за дерайлиране. Такава особеност са улейните релси, които имат преобладаващо приложение при трамвайния релсов път (ТрРП). Улейни релси се използват при общо платно с автомобилното движение в градовете или т.нар. „вграден” коловоз. Попадането на чужди тела в улеите на

релсите е често срещано. Тези чужди тела може да са, както от лесно разрушим материал, така и стоманени елементи от ходовата част на трамвайните мотриси (ТМ) и автомобилите. Твърдите тела попаднали в улеите на релсите, чийто размер е съизмерим с размера на улея предизвикват рязко подскачане на колелата и представляват предпоставка за дерайлиране на трамвайния подвижен състав.

Подобно на чуждите тела в улеите като причини за дерайлиране са повреди по РП като: скъсана релса, чието пропадане е съпоставимо с дълбочината на улея или с височината на ребордите на колелата; липсващ фрагмент от главата на релсата с дължина около 100 mm. Тези дефекти са аналогични на чуждо тяло в улея тъй като предизвикват рязко пропадане на колелото.

По-нататък чуждото тяло и повредата по главата на релсата ще се наричат „дефект“.

## 2. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Не е нужно да се доказва, че споменатите по-горе дефекти по ТрРП са причини за дерайлиране на возилото. Обаче има въпроси, които зададени, пораждат съмнение:

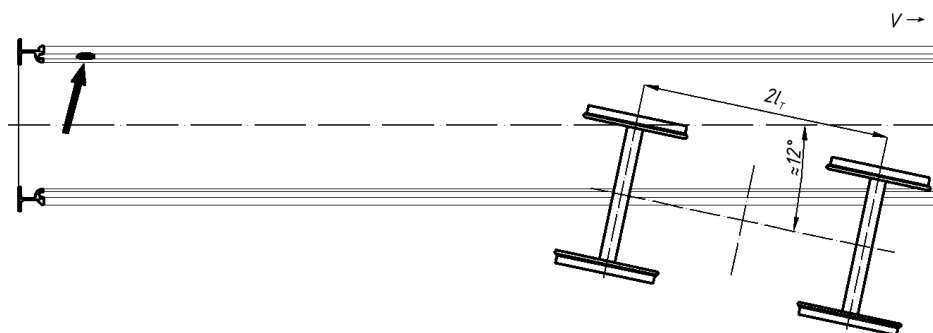
- *Защо настъпва дерайлиране само при част от случаите на описаните дефекти?*
- *Ако подскачането е от едната релса, то защо колелото търкалящо се по другата (улейна) релса не би могло да спре дерайлирането?*

Случаите на дерайлиране в следствие на чуждо тяло в релсите или повреда предизвикваща рязко пропадане на колело се отличават с някои особености. Тъй като процесът трудно може да бъде наблюдаван, то за поведението на дерайлиралата талига може да се съди от следите от ребордите на колелата по пътната настилка (фиг. 2.). Оставените следи по настилката предизвикват въпросите:

- *Защо следите, оставени от ребордите на първата колоос започват на разстояние около 1,2 от базата на талигата след чуждото тяло или скъсаната релса?*
- *Защо следите, оставени от ребордите на първата колоос започват на разстояние около 50 – 100 милиметра в страни от улеите на релсите?*

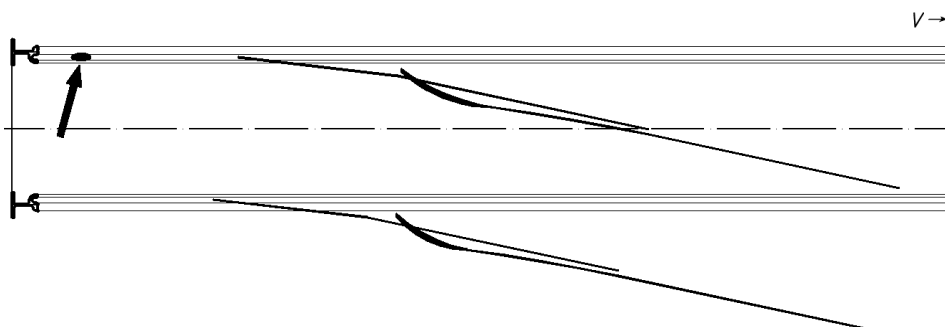
## 3. ПОЛОЖЕНИЕ НА ТАЛИГАТА СПРЯМО КОЛОВОЗА.

На фигура 1. е показано положението на дерайлирала талига спрямо коловоза характерно за разглежданите случаи на дерайлиране. Това положение е обобщено за всички различни случаи с тези причини. На фигурите със стрелка е показано мястото на дефекта.



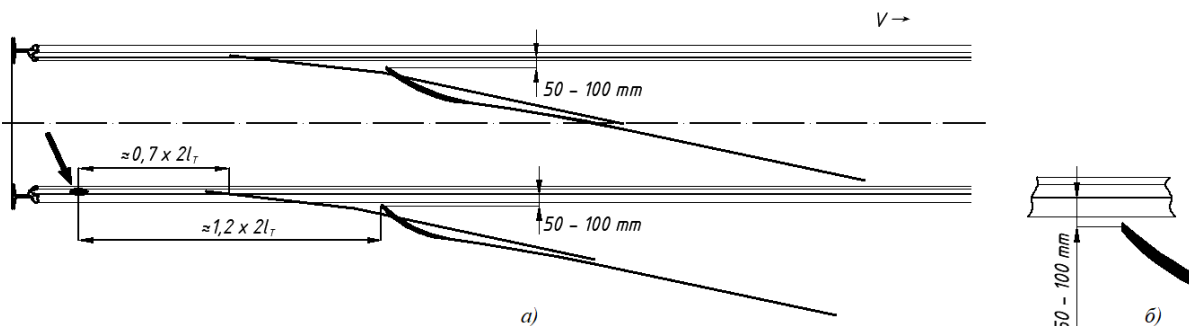
Фиг. 1. Положение на дерайлирала талига спрямо коловоза.

При различните случаи не е открита зависимост между посоката в която се е отклонила талигата при дерайлирането и това на коя релса е дефекта. Положението на дерайлиралата спрямо пътя талигата може да се опише по следния начин: талигата е извън коловоза като оста ѝ е под ъгъл 10 - 15 градуса спрямо оста на пътя.



Фиг. 2. Следи оставени от ребордите на колелата по пътната настилка.

Следата оставена по пътната настилка от ребордите на колелата на втората колоос (фиг. 3.а) започва на разстояние около 0,7 от базата на талигата след дефекта. Има следи от изкачване на реборда по главата на едната релса и по реборда на другата. Следите оставени от втората колоос са надирания по ръбовете на главата на едната релса и реборда на другата и показват, че преди дерайлирането е имало завъртане. Ребордите на колелата са се „задържали“ в улеите, което допълнително е завъртяло талигата.



Фиг. 3. Следи оставени от ребордите на колелата на двете колооси по пътната настилка.

Следата оставена по пътната настилка от ребордите на колелата на първата колоос (фиг. 3.а) започва на разстояние от дефекта на около 1,2 от базата на талигата  $2l_T$  и на около 50 до 100 милиметра от контактните ръбове на релсите (фиг. 3.б).

Интересно е поведението на първата колоос на дерайлиралата талига. От липсата на следи от изкачване по релсите и разстоянието, на което се появяват следите по пътната настилка може да се предположи, че колооста е дерайлирала с подскачане.

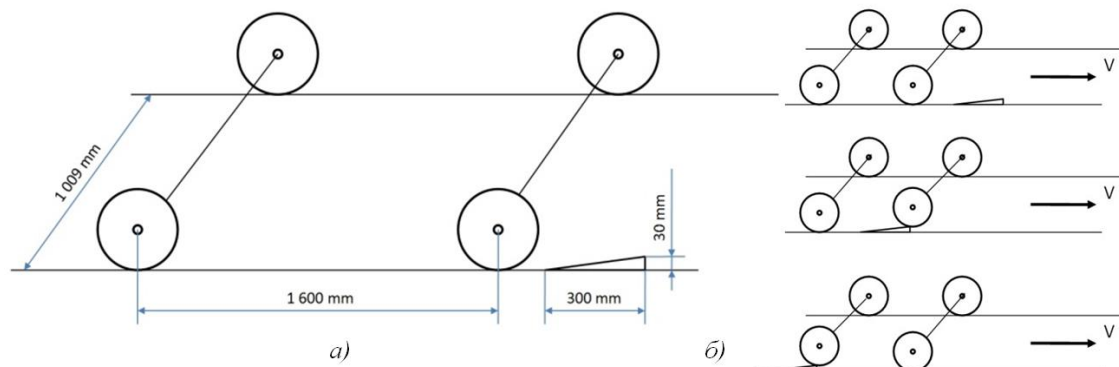
Положението на талигата след дерайлирането и следите по пътната настилка показват, че първо е дерайлирала водещата колоос. Това налага да се търси причината за подскачането на колооста.

#### 4. ЕКСПЕРИМЕНТ И РЕЗУЛТАТИ.

Резултатите от експеримент проведен с цел установяване на собствените честоти на рамата на трамвайна талига Т 81 [1] са основа на изследването на проблема.

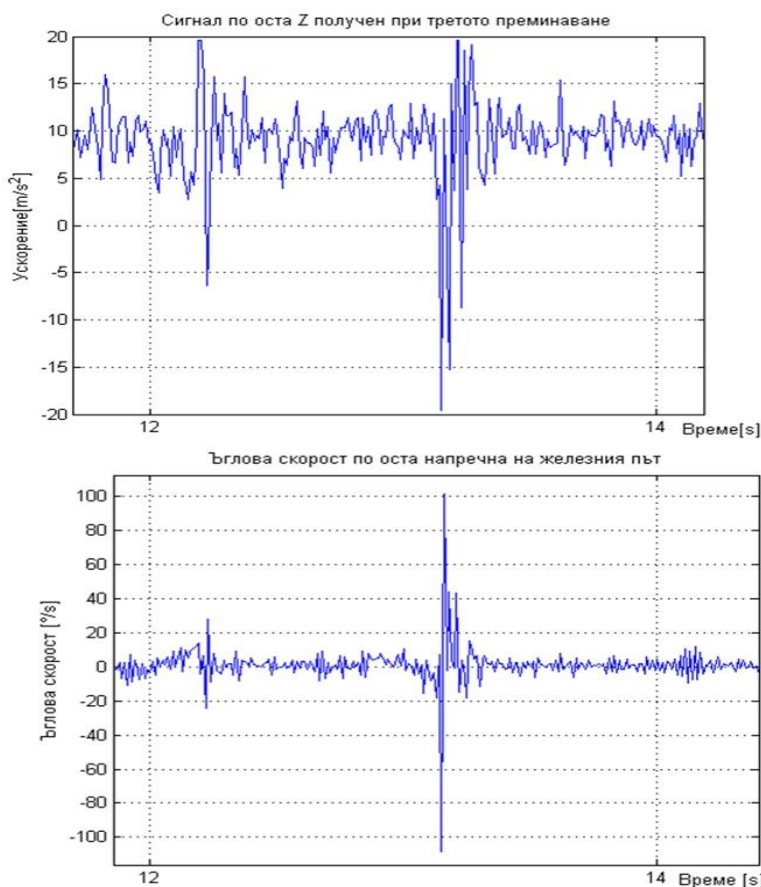
Експериментът е проведен с трамвайна мотриса тип Т8М 700. За измерване на параметрите сензорите са монтирани върху чашата на буксовото окачване над предното дясно колело на първата талига. Симулиране на „подскачане“ на десните колела на талигата е постигнато с поставяне в улея на релсата на „клин за контролирано дерайлиране“ от оборудването на аварийния автомобил. Разстоянието между колоосите на талигата, ширината на междурелсието и размерите на клина са показани на фигура 4.а.

Проведени са общо 9 опита, по три опита при следните скорости: под тяга с прагова скорост - 1 m/s (3,6 km/h), при движение по инерция със скорост близка до праговата и под тяга със скорост от 1,67 m/s (6 km/h) по следния начин (фиг. 4.б.). Клинът е поставен в улея на дясната релса на около 3 метра пред талигата. При движението си напред колелата последователно се изкачват по клина и „скачат“ върху главата на релсата.



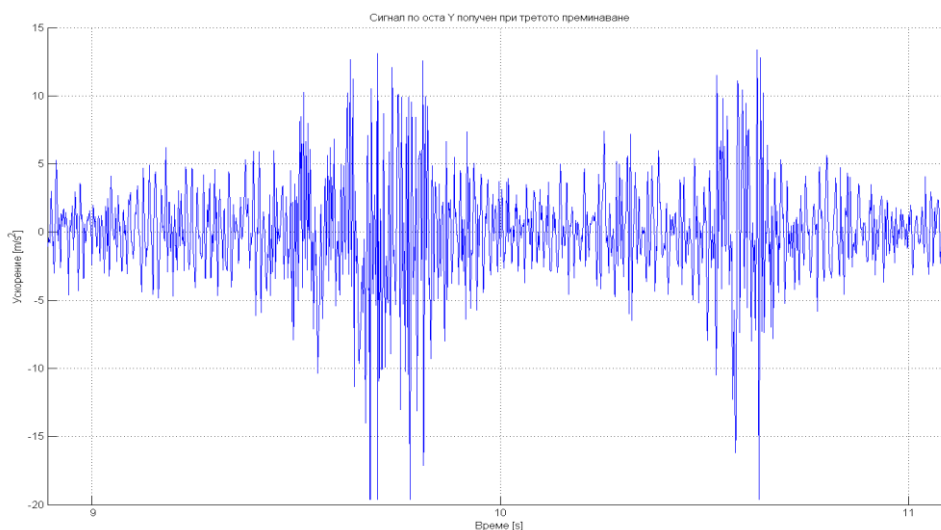
Фиг. 4. Експеримент за установяване на собствените честоти на рамата на трамвайна талига Т 81.

На фигура 5. са съпоставени диаграмите за вертикалното ускорение и ъгловата скорост над първо дясно колело получени при третото преминаване с прагова скорост под тяга.



Фиг. 5. Съпоставка на резултати за вертикалното ускорение и ъгловата скорост.

Ускорението при чашата над първото колело при преминаване на второто колело през клина достига  $30 \text{ m/s}^2$  в посока на горе. То е 2 пъти по-голямо от ускорението при преминаването на първото колело.



**Фиг. 6. Графика на ускоренията по напречната ос.**

От графиката на ъгловата скорост в напречно направление (фиг. 5.) се вижда, че при преминаването на второто колело през клина стойностите ѝ са около 5 пъти по-големи. Тази ъглова скорост е в резултат на ускоренията по напречната ос (фиг. 6.). Пиковите на стойностите на ускоренията по напречната ос са по-големи в посоката на неподскачащите колела. Това може да се обясни с еластичността на буксовата ресорна степен, която при опитната талига е от пакети цилиндрични винтови пружини.

### 5. ПРОТИЧАНЕ НА ПРОЦЕСА.

От графиките на фигура 5. става ясно, че предната част на талигата се влияе по-силно при преминаването на втората колоос през дефект на пътя. Т.е. подскачане или пропадане на колело от втората колоос води до по-голямо вертикално натоварване в предната част на рамата на талигата. Това натоварване е краткотрайно и не може да усуче рамата на талигата, но предизвиква подскачане и съответно до краткотрайно разтоварване на първата колоос. Вертикалните ускорения са съпроводени със съпоставими по големина ускорения по напречната ос (фиг. 6.), те пораждат сили, стремящи се да завъртят талигата около централния ѝ болт.

Според критерия за дерайлиране  $K_{der}$  отношението на хоризонталното  $Y$  и вертикалното статично  $Q_{CT}$  натоварване трябва да бъде в определени граници [2, 3, 4].

$$(1) \quad K_{der} = \frac{Y}{Q_{CT}}$$

При преминаване на колело през вертикална неравност се появява сила  $Q_a$ , която е породена от ускоренията, получени в резултат на неравността.

$$(2) \quad Q_a = m_{CT} \cdot \pm \vec{a}_z$$

където:  $m_{CT}$  – масата падаща се на едно колело,  $\pm \vec{a}_z$  – моментна стойност на ускорението по вертикалната ос.

Тогава в изразът (1) за  $K_{der}$  се добавя и силата  $Q_a$ .

$$(3) \quad K_{der} = \frac{Y}{Q_{CT} \pm Q_a}$$

От гледна точка на разглеждания случай е интересно когато максималната стойност на вертикалното ускорение е в посока нагоре  $-\vec{a}_{z\max}$ ,

$$(4) \quad Q_a = m_{CT} \cdot (-\vec{a}_{z\max})$$

т.е. вертикалното натоварване  $Q_{CT}$  е компенсирано от  $Q_a$ . Тогава първата колоос на талигата е напълно разтоварена.

Степента на разтоварване на водещата колоос зависи предимно от: моментното статично натоварване на колооста, вида на буксовото окачване и големината на вертикалното ускорение. Натоварване на предната колоос близко до натоварването под тара, твърдо водене на буксите и изпълняване на зависимостта (5) са най-благоприятните условия за дерайлиране.

При твърдо водене на буксите или при наличие на ограничители за „разтягането“ на буксовото окачване е възможно отделяне на колелата от релсите когато  $-\vec{a}_z$  достигне стойности, при които силата  $Q_a$  породена от него стане по-голяма от статичното натоварване  $Q_{CT}$ .

Когато разтоварването на първата колоос, т.е. максималната стойност на вертикалното ускорение в посока нагоре  $-\vec{a}_{z\max}$  съвпадне с максимална стойност на ускорението по напречната ос (5) или близка до нея без значение на посоката  $\pm \vec{a}_{y\max}$  възниква възможността за завъртане на талигата.

$$(5) \quad -\vec{a}_{z\max} \equiv \pm \vec{a}_{y\max}$$

Големината на напречната сила може да се получи и като резултат от измерените ускорения в напречното направление:

$$(6) \quad Y = m_w \cdot \vec{a}_y,$$

където:  $m_w$  – масата колооста.

При пълно разтоварване на предната колоос без да е на лице отделяне от релсите остава единствено да действа напречната сила  $Y$  [5].

$$(7) \quad Y = \frac{m_w \cdot V^2}{\rho},$$

където:  $V$  – скорост на движение,  $\rho$  – радиус на завъртане на талигата около централния болт.

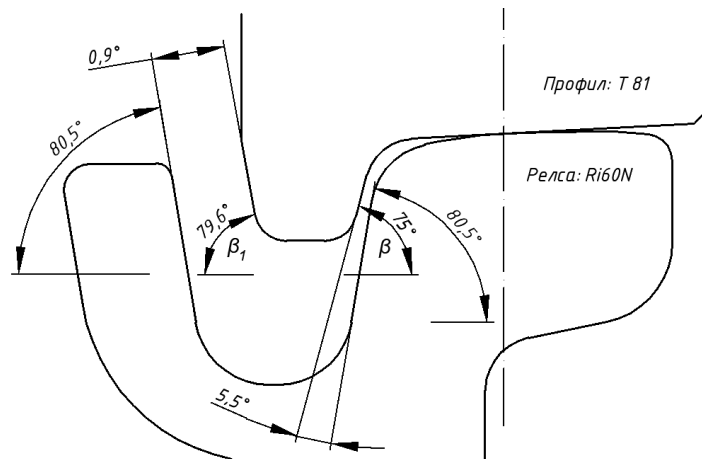
При достатъчна големина на напречната сила колооста ще се стреми да се премести в страни чрез плъзгане на стената на реборда по главата или реборда на релсата. Профилите на бандажа и релсата (фиг. 7.) и по-точно наклоните на образуващите реборда и улея благоприятстват плъзгане когато действа само на напречната сила.

При стремеж да се премести в страни без подскачане на колелата разтоварената колоос има контакт със стените на главата и реборда на релсите. В контактните им точки възниква напречна сила  $Y_k$ .

$$(8) \quad Y_k = Y \cdot \cos(90 - \beta)$$

$$(9) \quad Y_k = Y \cdot \cos(90 - \beta_1)$$

където:  $\beta$  – ъгъл на наклона на образуващата на работната стена на реборда,  $\beta_1$  – ъгъл на наклона на образуващата на вътрешната челна стена на реборда.



Фиг. 7. Профили на бандажа и улейна релса Ri60N.

## 6. ИЗВОДИ.

След съпоставка на данни от експлоатационни документи и диаграмите, резултат от проведен експеримент с реалните следи оставени по пътната настилка след дерайлиране могат да се направят следните изводи:

- ✓ Дерайлиране настъпва само когато е изпълнено условието (5).
- ✓ Условия, благоприятстващи дерайлирането са: намалено моментно статично натоварване на колооста, вида на буксовото окачване и големините на вертикалното и напречното ускорения.
- ✓ Колелото, което се търкаля по другата релса не може да „удържи” колооста в колелозата тъй като има едновременно, макар и неравномерно, рязко разтоварване на цялата колоос.
- ✓ Следите от търкаляне на колелата по пътната настилка от първата колоос започват на голямо разстояние от дефекта поради по-голямото влияние върху предната част на рамата на талигата при преминаване през дефекта на второто колело.
- ✓ Липсата на следи от изкачване по релсите на водещата колоос се обяснява с разтоварването на колооста и дерайлирането с прескачане на релсите.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Публикуваните данни, наблюдения и направените изводи описват механизма на дерайлиране на ТМ в следствие на чуждо тяло в улея или повреда на главата на едната релса, съизмерими с дълбочината на улея. Изводите дават отговори на въпросите възникнали при разследване на причините за дерайлиране на трамвайните мотриси. Обясняват характерните следи оставени по пътната настилка от ребордите на колелата. Отговаря се на въпросът: защо при явен дефект по релсовия път, който сам по себе си е причина за дерайлиране в повечето случаи мотрисите не дерайлират.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Милетиев Р., Йончев Е., Михайлов Е., Йорданов Р., „Измерване на собствената честота на рамата на трамвайна талига посредством четири сензорна инерциална система”, 24-ти Национален научен симпозиум „Metrology and metrology assurance 2014”, ТУ-София, Созопол, 2014 г.

- [2] Nadal M. J.: Theorie de la stabilite des locomotives, Movement de Lacet, Annales des mines, vol. 10, 1896, str. 232
- [3] Ружеков Т., Пенчев Ц., Димитров Е., „Теория и конструиране на железопътна техника”, ВТУ, София, 2011 г.
- [4] Ахмаджова Д., „Метод за определяне безопасността срещу дерайлиране при железопътно произшествие”, списание „Механика, транспорт, комуникации”, ID 1614, бр. 3, 2018 г.
- [5] Караджов, Т., Димитров Ж., ВАГОНИ, Техника, София, 1988.

## **DERAILMENT OF TRAMS AS A RESULT OF CONSEQUENTIAL JUMPING OR FAILURE OF WHEELS ON ONE SIDE**

**Emil M. Mihaylov, M.Sc.Eng.**

*Todor Kableskov University of transport,  
Sofia, 158 Geo Milev Str., BULGARIA*

**Keywords:** tram, track, tram railway, grooved rails, bogies, wheelsets, derailment

**Abstract:** *This material presents a study of the derailment of trams as a result of successive abrupt jumping or falling of the wheels on one side when driving on a built-in track built with grooved rails. The following cases are considered: Consecutive jumping of the left or right wheels of the bogie due to the presence of a foreign body in the groove of the rail, the dimensions of which are comparable to the size of the groove. Consecutive abrupt failure of the left or right wheels of the bogie when there is a torn rail, the failure of which is comparable to the size of the rail head. Statistics show that these defects on the track do not always cause derailment. At the same time, when derailed, the traces left on the road surface show a special behavior of the bogie during derailment. To establish the reasons, a study of the behavior of the tram bogie was carried out when consecutive jumping of the wheels occurred on one of its sides. With the use of a "wedge for controlled derailment" a jump of the right wheel has been caused, as a result of which the accelerations above the first right wheel of the T 81 tram bogie were measured. The results show that when the second wheel jumps in the bogie frame above the first wheel, the values of the accelerations along the vertical and transverse axes are 2 to 3 times higher. Also, the measured values of the angular velocity along the transverse axis follow the same trend. This gives grounds to conclude that derailment occurs when the maximum values of accelerations and the transverse angular velocity coincide.*