

ОТНОСНО ПУКНАТИНИТЕ ПО РАМАТА НА ТРАМВАЙНА ТАЛИГА Т 81

Емил М. Михайлов

emm_1968@abv.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
катедра „Транспортна техника”,
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *трамвайна талига, пукнатини, умора на материала.*

Резюме: *Този материал се отнася за трамвайните талиги Т 81. С тези талиги са оборудвани трамвайните мотриси типове Т6М 700 и Т8М 700 М, експлоатирани в град София. Материалът е продължение на изследването на проблема с появата и развитие на пукнатини по талиговата рама в двата края на напречната ѝ греда. В предишни изследвания е установено, че промяната на конструкцията на централната ресорна степен влияе в пренебрежителна степен върху разпределението на напреженията в рамата. Тук е разгледано влиянието на неравностите на трамвайния релсов път върху напреженията и уморната якост на конструкцията. Изследвана е конструкцията след изменението на централната ресорна степен - с къси пружини. Ползват се данни от проведени измервания на ускоренията в талиговата рама при чашата на буксовата ресорна степен над предното дясно колело на първата талига. Резултатите са, както от измерване на различни участъци от трамвайната система на град София, така и от експеримент за установяване на собствените честоти на талигата. С помощта на програмата Autodesk Inventor Pro 2015 е направен анализ на разпределението на вътрешните напрежения в рамата на талигата с различни сили съответни на стойностите на измерените ускорения. Пресмятанятията и симулациите доказват, че съществена роля за поява и развитие на пукнатини по талиговата рама имат неравностите на релсовия път.*

1. УВОД.

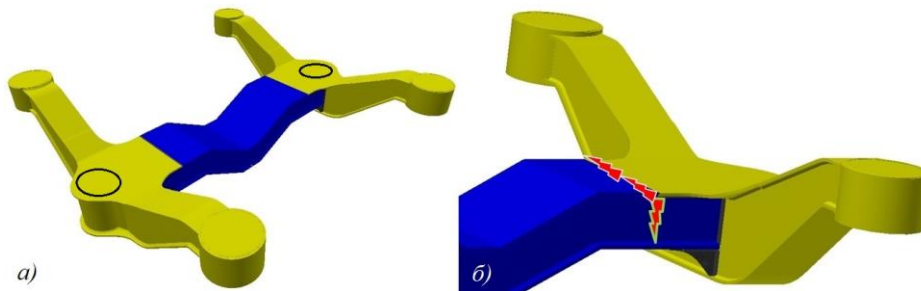
Елементите на ходовата част, в т.ч. рамата на талигата са подложени на прякото влияние от железния път. Преминаването през съоръжения на пътя и резки пропадания на релсите пораждаат вертикални сили, които водят до деформации на конструкцията.

В предишни изследвания е установено, че при трамвайната талига тип Т 81 изменението на конструкцията на централната ресорна степен (ЦРС) има незначително влияние за разпределение на напреженията.

За установяване на влиянието от пътя са проведени измервания на ускоренията в рамата на талигата при горната чаша на буксовата ресорна степен (БРС) над първо дясно колело. С тези резултати са направени пресмятанятията и симулацията на напреженията на талиговата рама.

2. ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА.

Рамата на трамвайната талига Т81 е отворен тип (фиг. 1.а), има Н-образна пространствена форма. В двата края на надлъжните греди са оформени горните чаши на пружинните комплекти от БРС. В средата на надлъжните греди по продължение на напречната греда са местата, в които опират пружините на ЦРС. В началото на 90-те години на XX век е направено изменение в конструкцията на ЦРС. Пружинните комплекти са заменени с по-къси, като е променено мястото на опиране на пружините в долната им част.

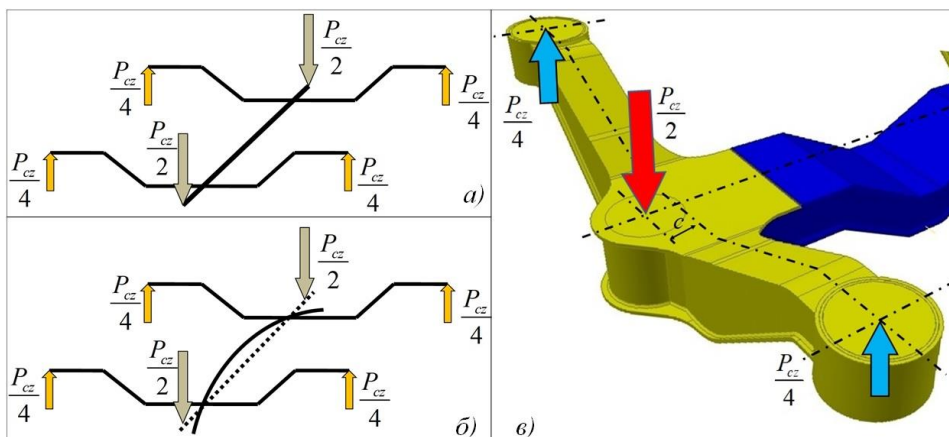


Фиг. 1. Рама на талига Т 81 и сечението с поява и развитие на пукнатини.

Според данните при почти всички постъпващи на основен ремонт трамвайни талиги Т 81 се откриват пукнатини. На фигура 1.б. е показано мястото на поява на пукнатини – по продължение на заваръчния шев между горните листове на напречната и надлъжните греди.

3. СТАТИЧНО НАТОВАРВАНЕ.

На фигура 2.а. е показана схемата на статичното натоварване на рамата на талигата. Пресмятането е направено с натоварване под товар, общо върху талигата при централния болт $P_{cz} = 120 \text{ kN}$. Разпределената от ЦРС вертикална сила създава огъващ момент в напречната греда на рамата (фиг. 2.б.). Приложните точки на силите от ЦРС (фиг. 2.в.) са на разстояние $c = 80 \text{ mm}$ навън от линията свързваща осите на пружините БРС. Полученият огъващ момент в застрашеното сечение е $M_{oz} = 4,8 \text{ kNm}$.



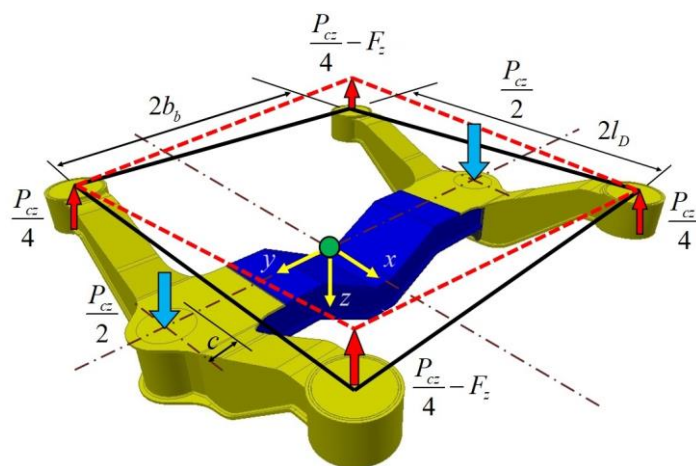
Фиг. 2 . Приложни точки на силите върху рамата на талигата.

Преобладаващите стойности на напреженията са около 70 MPa .

4. ВЛИЯНИЕ ОТ РЕЛСОВИЯ ПЪТ ПРИ ПРЕМИНАВАНЕ ПРЕЗ НЕРАВНОСТИ.

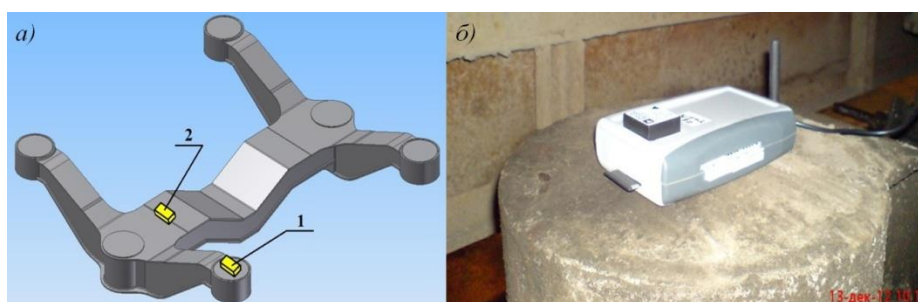
При преминаване на едното колело през случайна неравност по пътя в зависимост от формата ѝ (издигане или пропадане на пътя), възникват сили, които се сумират с действащите статични сили. Възникналите усилия на усукване в рамата се предават по конструкцията кососиметрично [1] и стремят да деформират рамата на талигата по схемата показана на фигура 3.

На фигура 3. първото дясно колело преминава през вертикална неравност. Повдигането на предната част на дясната надлъжна греда увеличава натиска върху задната част на лявата. Червената прекъсната линия е деформацията на талиговата рама. Кососиметричното натоварване се стреми да усуче напречната греда.



Фиг. 3. Усукване на рамата на талига Т 81 при преминаване 1-во дясно колело през вертикална неравност.

За установяване на големината на силите действащи на талиговата рама в резултат от неравностите на пътя е използван метод чрез измерване на ускорения [2, 3, 4]. За целта са монтирани два сензора (фиг. 4.а.) отчитащи ускоренията в рамата [5]. На фигурата с позиция 1. е означен сензор за измерване на ускоренията в чашата на пружината от БРС над дясното колело на 1-ва колоос. С позиция 2. е сензорът за измерване на ускоренията на напречната греда на рамата над застрашеното сечение.

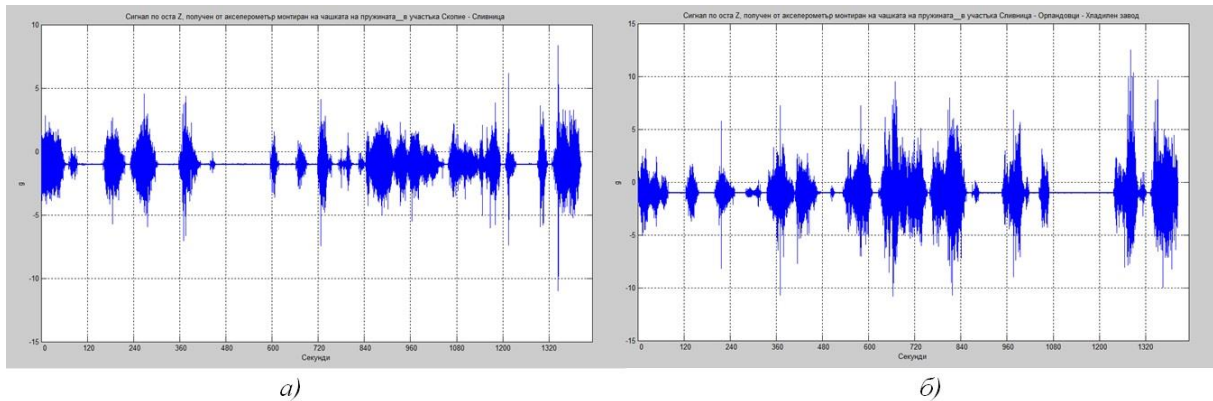


Фиг. 4. Места на регистрация на ускоренията в талиговата рама.

Измерени са участъци от трамвайната мрежа в град София с различно състояние на релсовия път. От диаграмите са взети усреднени стойности на ускоренията, с които е направена симулация за установяване на напреженията в рамата на талигата.

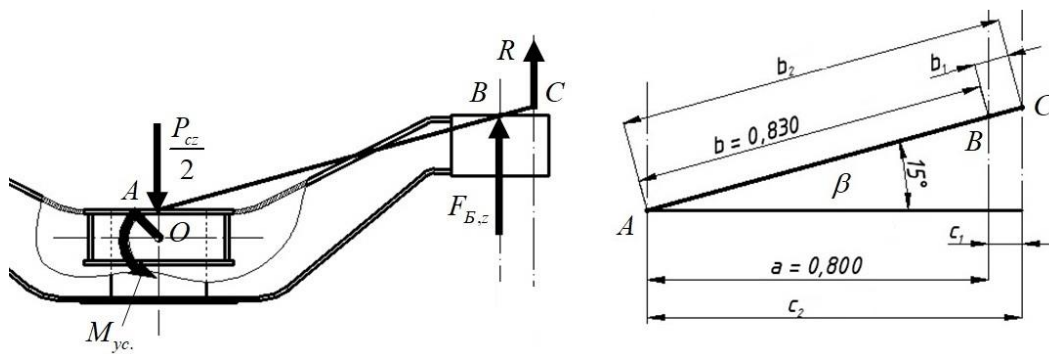
За участък с релсов път (фиг. 5.а) в задоволително състояние средните стойности на ускоренията са около $3g = 29,43 \text{ ms}^{-2}$, което дава сила $F_z = 70 \text{ kN}$. За участък с лошо състояние на пътя (фиг. 5.б) средните стойности са около $7g = 68,67 \text{ ms}^{-2}$, съответно силата е $F_z = 155 \text{ kN}$.

При спирка „Католически гробища” по улица „Каменоделска” (фиг. 5.б.) е измерен пик на ускорението около $13g = 127,53 \text{ ms}^{-2}$, което дава сила $F_z = 287 \text{ kN}$.



Фиг. 5. Резултати от измерване на ускоренията в талиговата рама при чашата за БРС над 1-во дясно колело.

По изчислителната схема на фигура 6. са пресметнати равнодействащата сила R и усукващия момент $M_{ус.}$. Пресметнатите стойности на $M_{ус.}$ са нанесени в Таблица 1.



Фиг. 6. Изчислителна схема за усукващия момент при напречната греда.

Със силите за различните стойности на ускоренията са направени и изчисления по Метода на крайните елементи с помощта на програмата *Autodesk Inventor Pro 2015*.

Симулациите са направени със стойности на силите за $3g$ и $7g$. При прилагане на силата получена от $13g$ програмата съобщава, че конструкцията не може да понесе това натоварване.

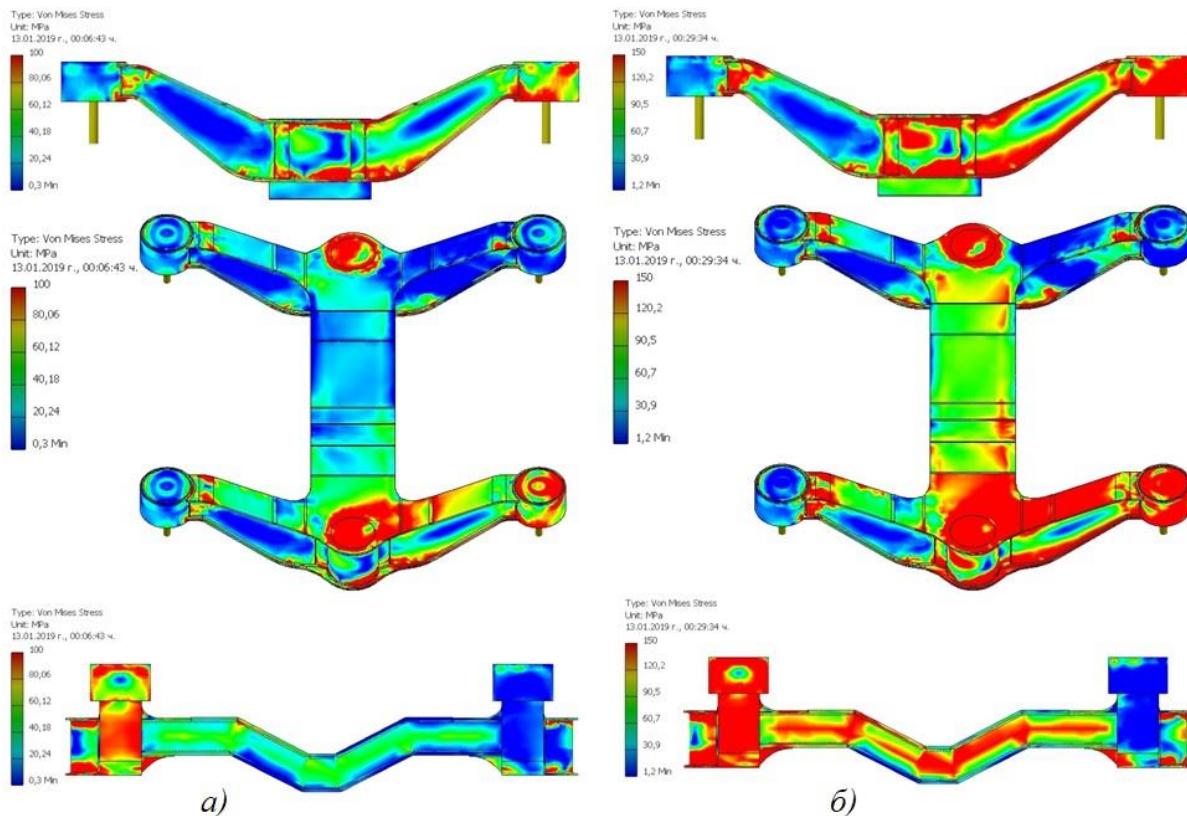
Симулациите, показани на фигура 7. са при статично натоварване под тара, общо върху талигата при централния болт $P_{cz} = 90 \text{ kN}$.

На фигура 7.а. са резултатите при стойност на силата приложена под чашата над първото дясно колело $F_z = 70 \text{ kN}$, отговаряща на $3g$. Преобладаващите стойности на напреженията са около 140 MPa . Скалата на трите изгледа (фиг. 7.а.) е 100 MPa . При този мащаб на скалата ясно личи разпределението на напреженията в конструкцията.

На фигура 7.б. са резултатите при стойност на силата приложена под чашата над първото дясно колело $F_z = 155 \text{ kN}$, отговаряща на $7g$. Преобладаващите стойности на напреженията са около 290 MPa . Скалата на трите изгледа (фиг. 7.б.) е 150 MPa . При този мащаб на скалата ясно личи разпределението на напреженията в конструкцията.

Най-високи стойности на напреженията има в предната част на дясната надлъжна греда и в напречната греда в близост до ЦРС. Сравнително по-високи стойности на напреженията има в задната част на дясната надлъжна греда. Като цяло лявата надлъжна греда е по-слабо натоварена. Значително по-ниски стойности на

напреженията има в кососиметричното направление. Т.е. напречната греда поема по-голямата част от напреженията.



Фиг. 7. Разпределение на натоварването в рамата на талигата под тара и ускорения 3g и 7g при чашата над предно дясно колело.

5. НАПРЕЖЕНИЯ В ЗАСТРАШЕНИТЕ СЕЧЕНИЯ НА НАПРЕЧНАТА ГРЕДА.

Сеченията на напречната греда, в които възникват и се развиват пукнатини е натоварено едновременно с огъване и усукване. По-горе бяха определени $M_{ог.}$ и $M_{ус.}$, които са нанесени в Таблица 1.

Определянето на еквивалентното напрежение в напречната греда е по следните зависимости:

$$(1) \quad \sigma_y = \frac{M_{ог.}}{W_y}, MPa,$$

$$(2) \quad \tau_y = \frac{M_{ус.}}{W_{ус.}}, MPa,$$

$$(3) \quad \sigma_{екв.}^{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, MPa$$

където: $W_y = 4,85 \cdot 10^{-4} m^3$ – съпротивителен момент на сечението;

$W_{ус.} = 7,55 \cdot 10^{-4} m^3$ – съпротивителен момент на сечението при усукване.

Получените стойности след пресмятането са нанесени в Таблица 1. Стойностите за еквивалентното напрежение са близки до получените при симулацията с *Autodesk Inventor Pro 2015*. Напреженията, които понася напречната греда на рамата при движение по път в лошо състояние доближават границата на провличане на стоманата. Данните за пиковите стойности на ускоренията от двата начина на пресмятане показват претоварване на конструкцията.

Таблица 1.

	M_{oz}, kNm	σ_y, MPa	M_{yc}, kNm	R, kN	τ_y, MPa	$\sigma_{екв.}^{III}, MPa$
при $\vec{a} = 3g$	4,8	9,897	55,997	10,0	74,168	148,666
при $\vec{a} = 7g$	4,8	9,897	123,992	95,0	164,228	328,605
при $\vec{a} = 13g$	4,8	9,897	222,386	218,0	294,551	589,185

След преминаването на първото колело през неравност на пътя преминава и задното колело. Тогава следва ново усукване на рамата на талигата, тогава всички сили са със същите стойности, но с противоположни знаци, т.е. следва ново усукване на гредата в обратна посока. Интензивността на процеса на последователно усукване в противоположни посоки зависи от скоростта. При скорост на движение 3 m/s времето за преминаване на талигата през една и съща неравност е около една секунда.

Съпоставянето на показанията от сензорите (фиг. 4.) от чашата над БРС (1) и този над застрашеното сечение (2) показват зависимост на ускоренията от скоростта на движение. При ниска скорост ускоренията при напречната греда имат стойности около 1/3 от измерени над чашата на БРС. При по-висока скорост на движение ускоренията при напречната греда достигат до 2/3 от тези над БРС. От тук може да се направи извод, че усукване на напречната греда има при по-ниските скорости на движение. Докато при увеличаване на скоростта има подскочане на рамата на талигата.

6. УМОРА НА МАТЕРИАЛА В ЗАСТРАШЕНИТЕ СЕЧЕНИЯ НА РАМАТА.

Най-отговорните детайли и възли от железопътните возила, като ходова част, рами и др. са застрашени най-вече от уморно разрушаване [6, 7, 8]. Основните фактори са в две групи - съпротивление и натоварване като:

- групата фактори „съпротивление” R са: умора σ_{-1} и τ_{-1} , разрушаване σ_B и τ_B , граница на провлачване σ_S и τ_S на материала, т.е. $R(\sigma_{-1}, \tau_{-1}, \sigma_B, \tau_B, \sigma_S, \tau_S)$;
- групата фактори „натоварване” T са: еквивалентни σ_{eq} , σ_{max} и τ_{max} и амплитудата σ_a и τ_a , асиметрията на цикъла r и други, т.е. $T(\sigma_{eq}, \sigma_{max}, \tau_{max}, \sigma_a, \tau_a, r, \dots)$.

Рамата на талигата е подложена на натоварвания от постоянен и случаен характер. Постоянните натоварвания са от статичния товар и от работата на силовото предаване. Те имат сравнително ниски стойности. Динамичните натоварвания от пътя са със значително по-големи стойности и достигат зоната на пластични деформации на материала [8].

От диаграмите на фигура 5. се вижда, че динамичното натоварване има случаен характер и зависи от състоянието на релсовия път. При движение по трасе с лошо състояние на пътя в някои моменти напреженията са в зоната на провлачване или над нея. Редуват се периоди с ниски и високи натоварвания. Т. е. има комбинация от малоциклова и многоциклова умора. Според стандартите, съпротивлението на умора за материала (стомана марка ВСтЗсп) на талиговата рама е 195 MPa, а средната стойност на съпротивлението на умора за заваръчните шевове е около 110 MPa.

От експеримент за установяване на собствената честота на рамата на талигата описан в [9] се получава информация за поведението на талигата и ускоренията при преминаване през вертикална повдигаща неравност. Част от резултатите на този експеримент са за ускорението по вертикалната ос. Диаграмата (фиг. 9.) е за периода от 12-тата до 14-та секунда от стартирането на измервателната система. В този интервал от време за около 1 секунда през клина преминават двете десни колела на талигата. Т.е.

за около една секунда се променя посоката на усукване на напречната греда на рамата на талигата.



Фиг. 9. Резултати за ускоренията по вертикалната ос при подскачане на десните колела.

От диаграмата се вижда, че стойностите на ускоренията в рамата при чашата на БРС над първото колело са около 3 пъти по-големи когато през неравността преминава второто колело. Може да се допусне, че при чашата на БРС над второто колело също ще бъдат измерени такива стойности на ускорението, но в обратен ред.

Като се има предвид, че неравностите на пътя са разпределени на случаен принцип, то и натоварването σ на ходовата част на ТМ има също случаен характер [8]. То се отнася към нерегулярните натоварвания и има три компоненти: σ_s - статична компонента, породена от вертикалните сили; σ_q - квазистатична компонента, породена от преразпределението на вертикалното натоварване между колелата; σ_d - динамична компонента, породена собствените и принудените трептения на масите от ходовата част и силовото предаване, както и от неравностите на пътя.

$$(4) \quad \sigma = \sigma_s + \sigma_q + \sigma_d + \sigma_{yc}.$$

Освен трите му компоненти σ има четвърта σ_{yc} , породена от усукването на рамата на талигата от неравностите на пътя (5.7).

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Потвърждава се предположението, че причината за поява и развитие на пукнатини в напречната греда на талиговата рама е влиянието от релсовия път. Пресмятанията и симулациите показват, че напречната греда на рамата на талигата в близост до надлъжните греди е подложена на голям брой знакопроменливи цикли със случаен характер, което води до силно снижение на уморната якост на материала [8].

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Ружиков Т., Пенчев Ц., Димитров Е., „Теория и конструиране на железопътна техника”, ВТУ, София, 2011 г.
- [2] Iontchev E., Simeonov Iv., Miletiev R., „GSM/GPS/INS system for urban railway monitoring based on MEMS inertial sensors”, Proceedings of the 22nd Micromechanics and Microsystems Technology Europe Workshop, Tonsberg, Norway, 19-22 June 2011, pp. D81
- [3] Йончев Е., Методи и алгоритми за анализ и оценка състоянието на транспортната мрежа на базата на микромеханични инерциални сензори, Дис., ТУ-София, 2012 г.
- [4] Йончев Е., Милетиев Р. М., Симеонов Ив., Метод за откриване на места с неизправности по железния път, Научни известия на научно-техническия съюз по машиностроене, година XIX, бр. 5 (125), 06.2011 г., стр. 22-26.

- [5] Mihaylov E., Iontchev E., Atmadzhova D., „Measuring accelerations frame tram bogies T81 in order to establish the reasons for the emergence and development of cracks”, XVI Scientific - expert conference RAILCON'14, Ниш, Сърбия, 2014 г.
- [6] Ахмаджова Д., Михалев М., Уморна якост и ресурс на елементи от подвижен железопътен състав. , XX НК с международно участие на ВТУ "Т. Каблешков", 2011
- [7] Ахмаджова Д., Параметричен анализ на надеждността на рама от железопътна талига. , Electronic journal "Mechanics Transportation Communications" issue 2, 2011
- [8] Пенчев Ц., Ахмаджова Д., „Якост и дълготрайност на автомобилна и железопътна техника”, ВТУ, София, 2007 г.
- [9] Милетиев Р., Йончев Е., Михайлов Е. М., Йорданов Р., Измерване на собствените честоти на рамата на трамвайна талига посредством четирисензорна инерциална система, Сборник доклади, XXIV Национален научен симпозиум с международно участие – Метрология и метрологично осигуряване 2014, стр. 228-234.

REGARDING THE CRACKS ON THE FRAME OF TRAM BOGIE T 81

Emil M. Mihaylov
emm_1968@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA*

Keywords: *tram bogie, cracks, fatigue of the material*

Abstract: *This paper refers to the T 81 bogie. These bogies are equipped on the following types of trams, which operate in the city of Sofia - T6M 700 and T8M 700 M. The paper is a continuation of the study of the occurrence and development of cracks on the bogie frame at both ends of its transverse beam. In previous studies, it has been found that the change in the design of the central springline has a negligible effect on the distribution of stresses in the frame. Here the impact of the unevenness of the track on stress and stress strength of the structure is examined. The structure was studied after the change of the central springline - with short springs. Data from the measurements of the accelerations in the bogie frame at the cup of the springline above the front right wheel of the first bogie is used. The results are both from the measurement of different sections of the tram system of the city of Sofia, as well as from an experiment for establishing the own frequencies of the bogie. Using the Autodesk Inventor Pro 2015 software, an analysis of the distribution of internal stresses in the bogie frame with different forces corresponding to the measured acceleration values was made. The calculations and simulations prove that the unevenness of the track has a significant role for the appearance and development of cracks in the bogie frame.*