

ОСОБЕНОСТИ ПРИ РАБОТА НА КАРДАНЕН ВАЛ МЕЖДУ КОЛООСНИТЕ РЕДУКТОРИ НА ТРАМВАЙНА ТАЛИГА Т 81 С ГРУПОВО ЗАДВИЖВАНЕ НА КОЛООСИТЕ

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 мотриси, карданен вал, съединител на Хук

Резюме: Този материал се отнася за трамвайните мотриси типове Т6М 700 и Т8М 700 М, експлоатирани в град София. Тези мотриси са с групово задвижване на колоосите и движението от тяговите електродвигатели до колоосните редуктори се предава чрез карданни валове. Предмет на статията са повредите на късите карданни валове, предаващи движението между двата колоосни редуктора на една талига и свързаните с тях по кинематичната верига входящи валове на редукторите, лагери и фланци. Статистиката на аварийните откази по ходовата част и силовото предаване при тези мотриси за периода 2009 – 2015 година показват, че от общо 213 отказа за периода 96 са по карданните валове и свързаните с тях елементи от групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал”. Данните от трамвайно депо „Банишора” показват, че за този период са ремонтирани 276 къси карданни валове и са доставени 195 нови входящи валове за колоосни редуктори. Тези карданни валове и свързаните с тях елементи работят при тежки динамични натоварвания. В тягов режим предават двигателния момент с неравномерност в следствие на работата на карданния вал от ТЕД. В инерционен режим и режим на електродинамично спиране са под действието на усукващ момент в следствие на разлика в диаметрите на колелата на колоосите на талигата. Това са режимите, които трамвайните мотриси поддържат в около 90 % от времето на работа.

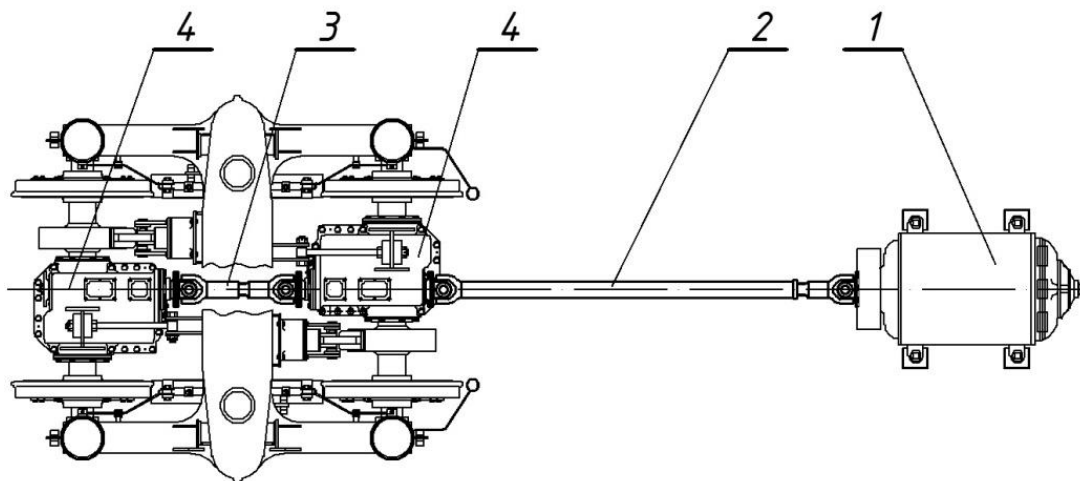
1. УВОД

От 80-те години на ХХ век в град София се експлоатират трамвайни мотриси (ТМ) типове Т6М 700 и Т8М 700 М. При тези мотриси е въведена нова концепция за силовото предаване – групово задвижване на колоосите на двигателните талиги. Двигателния въртящ момент от тяговите електродвигатели (ТЕД) до колоосните редуктори се предава чрез карданни валове. Двигателите са окачени на рамата на коша, а в крива двигателните талиги се завъртат спрямо коша под ъгъл до 11 градуса.

Върху работата на карданныя вал предаващ движението между двата колоосни редуктора на талигата има различни неблагоприятни влияния в различните режими на движение. В тягов режим предавания двигателен въртящ момент е с неравномерност, идваща от карданныя вал от ТЕД [1]. В инерционен режим и в режим на електродинамично спиране неблагоприятно влияние оказва усукващия момент породен от разлики в диаметрите на колелата на двете колооси [2]. Карданныя вал между колоосните редуктори се разглежда заедно със свързващите фланци и входящите валове на редукторите.

2. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

При конструиране на трамвайните мотриси типове Т6М 700 и Т8М 700 М е възприето групово задвижване на колоосите на двигателните талиги (фиг. 1.). Предвидено е движението от ТЕД (1) до първия по кинематичната верига колоосен редуктор (4) да се предава от карданен вал (2). Движението между двата колоосни редуктора (4) се предава от късия карданен вал (3).



Фиг. 1. Силово предаване при трамвайна талига Т 81.

Работната дължина на късия карданен вал е 700 mm, карданните съединения са от карданен вал за товарен автомобил МАЗ 503 [3]. За разлика от дългия карданен вал, при късия карданен вал са изпълнени условията за нормална работа [4,5].

Анализът на статистически данни на аварии за периода 2009 – 2015 година на отдел „Аварийна служба“ [6] – звено за спешна техническа помощ на „Столичен електротранспорт“ ЕАД, показват, че от общо 210 аварии по ходовата част и силовото предаване на талигите Т81 отказите по групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал“ са 41 броя. Същевременно по данни на трамвайно депо „Банишора“ за същия период на ремонт са подлежащи 68 броя къси карданни валове, доставени са нови 195 броя входящи валове за колоосни редуктори и 224 броя лагери за тях.

Най-честите случаи на аварии по късите карданни валове са: късане на шлицова шийка, разтоварващ преход към шлицова шийка, късане на заваръчен шев на тялото на вала, късане на фланец. Но има и комбинирани повреди: късане на фланец съпроводено с разглобяване на шарнирните съединения (снимка 1.).

От данните за доставки на входящи валове се вижда, че друг елемент от групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал“ има голям брой откази. Преобладава броят на износените лагери, но голям брой имат случаите на скъсване на шийката с най-малък диаметър (Ø 50 mm) на входящия вал. Видът на ломовете показва, че разру-

шаването е в резултат от умора при усукване, а при част от случаите и с елементи на умора при огъване.

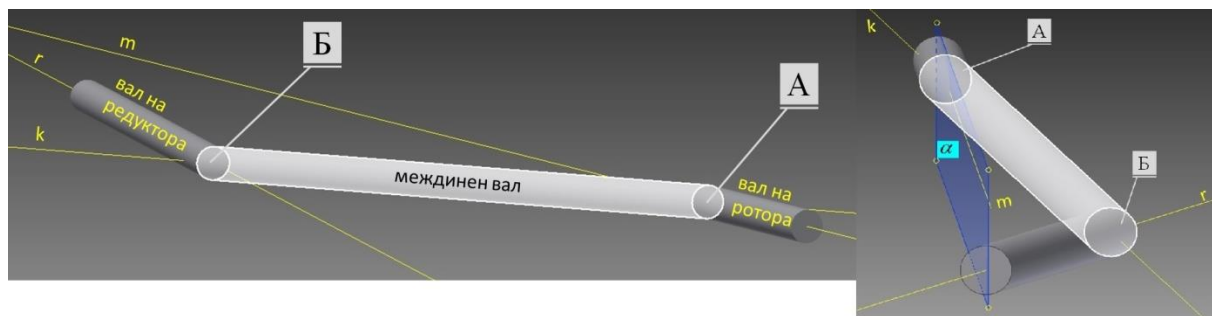


Снимка 1. Скъсан фланец и разглобено карданно съединение на къс карданен вал.

3. РАБОТА НА КАРДАНИЯ ВАЛ В ТЯГОВ РЕЖИМ

При преодоляване на крива когато ТМ е под тара карданныят вал предаващ движението от ТЕД към талигата заема сложно геометрично положение в пространството (фиг. 2.) спрямо надлъжната вертикална равнина α на ТМ. Осите на водещия и водимия валове не се пресичат, а се кръстосват над оста на централния болт на талигата. Тогава трите части на карданныя вал се намират в две равнини: първата определена от водещия и междинния валове; втората – от междинния и водимия [1].

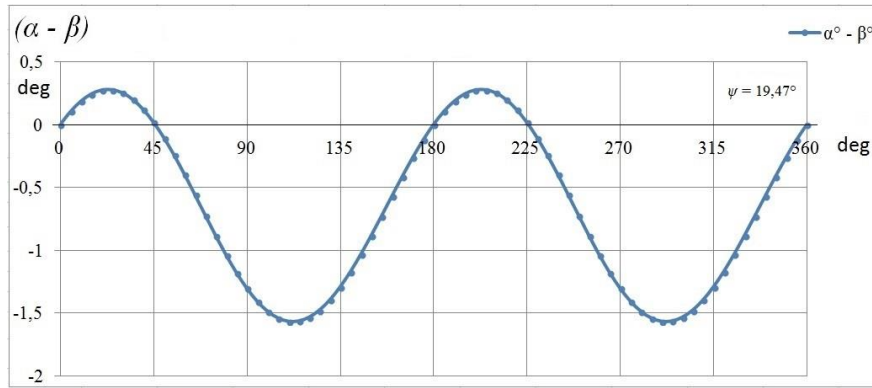
На фигура от 2. с главни букви А и Б са означени шарнирите на карданныя вал. Осите на водещия, междинния и водимия валове са означени съответно с m , k и r . Надлъжната вертикална равнина на ТМ е означена с α .



Фиг. 2. Положение на елементите на карданното предаване в пространството спрямо вертикалната надлъжна равнина на мотрисата.

Предаваният въртящ момент от ТЕД към първия по кинематичната верига колоосен редуктор е с непогасена неравномерност $\delta_{Б-А} = 0,0619358$ (фиг. 3.). Разликата в ъгловите координати $(\alpha - \beta)$ за един оборот на водещия и водимия валове в крива с $R = 18 \text{ m}$ заема стойности $(\alpha - \beta) = (\pm 1,566^\circ \div \mp 0,279^\circ)$.

От диаграмата се вижда, че неравномерността на въртене на водимия вал не е симетрична. Същевременно графиката се променя в зависимост от радиуса на кривата. Този процес може да се повтаря знакопроменливо за много кратко време.



Фиг. 3. Диаграма на разликата при ъгловите координати на водещия и водимия валове за един оборот (360°).

Възникналата неравномерност във въртящия момент от работата на дългия карданен вал в крива се предава по-нататък по силовото предаване и остава непроменена. Тогава у късият карданен вал се появява допълнително напрежение [4]:

$$(1) \quad \tau' = \frac{(\alpha - \beta)DG}{2L},$$

където: D – външен диаметър на вала;

L – дължина на вала между карданните съединения;

G – модул на ъглова деформация.

4. РАБОТА НА КАРДАНИЯ ВАЛ В ИНЕРЦИОНЕН РЕЖИМ И РЕЖИМ НА ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНО СПИРАНЕ

При движение на ТМ в инерционен режим и режим на електродинамично спиране предаване на въртящ момент между колоосните редуктори няма. Това е изпълнено при еднакви диаметри на колелата на двете колооси работещи заедно. Допустимата разлика в диаметрите на колелата на двете колооси е 0,4 mm. Направените измервания показват, че това почти никога не е изпълнено. Регистрирани са разлики на усреднените диаметри на колелата на двете колооси на една и съща талига достигат до 11 mm, а средните разлики са около 5 mm [2].

В инерционен режим и режим на електродинамично спиране движението в силовото предаване се предава в обратна посока, т.е. карданните валове получават движението от колелата през колоосните редуктори. При разлика в диаметрите на колелата на двете колооси първичните валове на редукторите имат различни обороти. Тогава в краищата на кардания вал между редукторите се получават различни по големина въртящи моменти (фиг. 4.).



Фиг. 4. Моменти действащи на кардания вал.

Елементите от групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал” са подложени на усукващ момент, който е разликата между двата момента от редукторите (2).

$$(2) \quad M_{yc} = M_{ред.1} - M_{ред.2}$$

След заместване и преобразуване за усукващия момент се получава:

$$(3) \quad M_{yc} = \frac{m_{к-с} \cdot V \cdot \Delta r}{i_{ред.}} \quad [Nm],$$

където: V – скорост на движение на трамвайната мотриси;
 $m_{к-с}$ – маса падаща се на една колоос;
 Δr – разлика между усреднените радиуси на двете колооси;
 $i_{ред.}$ – предавателно отношение на колоосните редуктори.

Разликата между оборотите на входящите валове на двата колоосни редуктора е:

$$(4) \quad \Delta n_{вх.в.} = \frac{30 \cdot V \cdot i_{ред.} \cdot \Delta r}{\pi} \quad [min^{-1}],$$

Усукващият момент в групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал”, резултат от различните въртящи моменти получавани от двата колоосни редуктора създава напрежение в елементите:

$$(5) \quad \tau_{yc.} = \frac{M_{yc.}}{W_{yc.}} \quad [MPa],$$

където: $W_{yc.}$ – съпротивителен момент на сечението при усукване.

По горните зависимости са получени стойностите на:

- ◆ големината на усукващия момент в групата „входящ вал - къс карданен вал – входящ вал” – $M_{yc.}$, [N.m] по (3);
- ◆ разликата в оборотите на двата входящи вала – Δn , [min⁻¹] по (4);
- ◆ напрежението на усукване в най-малкото сечение на входящия вал – $\tau_{yc.}$, [MPa] по (5).

Пресмятането е направено за скорости от праговата до максимално разрешената в градски условия. Всяка от величините е пресметната за различни стойности на усреднената разлика в радиусите на колелата на двете колооси Δr , m. Съответно за допустимата разлика $\Delta r = 0,0002$ m, за средната измерена разлика $\Delta r = 0,0025$ m и за измерената максимална разлика $\Delta r = 0,0055$ m в радиусите на колелата по кръга на търкаляне.

В Таблица 1. са резултатите от пресмятането когато мотрисата е под тара.

Таблица 1.

V		Под тара							
		$\Delta r = 0,0002$		$\Delta r = 0,0025$			$\Delta r = 0,0055$		
km/h	m/s	Δn , min ⁻¹	$M_{yc.}$, N.m	Δn , min ⁻¹	$M_{yc.}$, N.m	$\tau_{yc.}$, MPa	Δn , min ⁻¹	$M_{yc.}$, N.m	$\tau_{yc.}$, MPa
3,6	1,00	0,0132	0,13	0,1656	1,62	50	0,3644	3,57	109
5,0	1,39	0,0184	0,18	0,2300	2,25	69	0,5061	4,95	152
10,0	2,78	0,0368	0,36	0,4601	4,50	138	1,0121	9,91	303
15,0	4,17	0,0552	0,54	0,6901	6,76	207	1,5182	14,86	455
20,0	5,56	0,0736	0,72	0,9201	9,01	276	2,0243	19,82	607
30,0	8,33	0,1104	1,08	1,3802	13,51	414	3,0364	29,73	910
40,0	11,11	0,1472	1,44	1,8402	18,02	552	4,0485	39,64	1 213
50,0	13,89	0,1840	1,80	2,3003	22,52	689	5,0606	49,55	1 517

В Таблица 2. са резултатите от пресмятането когато мотрисата е под товар.

Таблица 2.

V		Под товар							
		$\Delta r = 0,0002$		$\Delta r = 0,0025$			$\Delta r = 0,0055$		
		$\Delta n,$	$M_{yc},$	$\Delta n,$	$M_{yc},$	$\tau_{yc},$	$\Delta n,$	$M_{yc},$	$\tau_{yc},$
km/h	m/s	min ⁻¹	N.m	min ⁻¹	N.m	MPa	min ⁻¹	N.m	MPa
3,6	1,00	0,0132	0,20	0,1656	2,52	77	0,3644	5,55	170
5,0	1,39	0,0184	0,28	0,2300	3,50	107	0,5061	7,71	236
10,0	2,78	0,0368	0,56	0,4601	7,01	214	1,0121	15,42	472
15,0	4,17	0,0552	0,84	0,6901	10,51	322	1,5182	23,12	708
20,0	5,56	0,0736	1,12	0,9201	14,01	429	2,0243	30,83	944
30,0	8,33	0,1104	1,68	1,3802	21,02	643	3,0364	46,25	1 416
40,0	11,11	0,1472	2,24	1,8402	28,03	858	4,0485	61,66	1 888
50,0	13,89	0,1840	2,80	2,3003	35,04	1 072	5,0606	77,08	2 359

Ако се приеме, че максималната разлика в диаметрите на колелата е по-скоро изключение и се разгледат получените стойности за разлики в колелата около средното отклонение се вижда, че критични стойности на напреженията се достигат при скорост на движение около 20 km/h. Същевременно техниката на управление на ТМ оборудвани с талиги Т 81 изисква максимално дълго време движението да е в инерционен режим и режим на електродинамично спиране.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените изчисления показват, че в трите режима на движение – тягов, инерционен режим и електродинамично спиране карданният вал между колоосните редуктори е подложен на големи натоварвания. Това са режими, които трамвайните мотриси поддържат в около 90 % от времето на работа. Карданният вал почти непрекъснато работи с натоварване от различни фактори, които намаляват границата на умора.

Може да се направи изводът, че условията на работа на карданните валове при трамвайните талиги с групово задвижване влияят неблагоприятно върху надеждността на групата „входящ вал - към карданен вал – входящ вал”. Това може да обясни големият брой на откази по силовото предаване при трамвайната талига Т 81.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Михайлов Е., „Особености при работа на карданен вал към трамвайна талига с групово задвижване на колоосите”, Международен научен форум „Техника и строителни технологии в транспорта - 2016”, ВТУ, ф. „ТСТТ”, Велинград, 2016 г.
- [2] Михайлов Е., „Анализ на причините за възникване на откази в системата „входящ вал – карданен вал – входящ вал” на трамвайни талиги Т 81”, XX Международна научна конференция „Транспорт 2011”, ВТУ, София 2011 г.
- [3] Завод за трамваи „София“, Конструкторска документация на трамвайна талига Т 81, чертеж Т-81 01.04.00.00 Б1 / 1989 г.
- [4] Христов Д. и др., „Пресмятане и конструиране на машинни елементи”, С, Техника, София, 1980 г.
- [5] Ралев Д., „Основи на конструирането”, ВТУ „Т. Каблешков”, Електронно издание, инв. 36-1/2005, София, 2004 г.
- [6] Аварийна служба, „Бюлетин за аварията”, „Столичен електротранспорт” ЕАД – София, 2009 – 2015 г.

SPECIFICS IN THE WORK OF THE CARDAN SHAFT BETWEEN THE WHEELSET REDUCERS OF TRAM BOGIE T81 WITH BLOCK PROPULSION OF THE WHEELSETS

Emil M. Mihaylov
emm_1968@abv.bg

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

Key words: tram, cardan shaft, hooke joint, hooke's joint, cardan joint

Abstract: This paper refers to trams types T6M 700 u T8M 700 M, which are in use in Sofia. These trams have a group propel of the wheelsets and the movement of the traction motors to the wheelset reducers is transmitted through cardan shafts. The subject of the paper are the failures of the short cardan shafts which transmit the motion between the two wheelsets reducers of a bogie and the related by the kinematic chain input shafts of the reducers, bearings and the flanges. The statistics of emergency failures on the chassis and powertrain in these trams for the period 2009 - 2015 year shows that out of 213 accidents for the period, 96 are on the cardan shafts and the related to them components of the group "Input shaft - short cardan shaft - input shaft". Data from the tram depot "Banishora" shows that in the same period 276 short cardan shafts have been repaired and a 195 new input shafts for the wheelset reducers have been delivered. These cardan shafts and their related components operate under heavy dynamic loads. In traction mode they transmit the torque with unevenness due to the work of the cardan shaft from the traction motor. In the inertial mode and electrodynamic braking mode they are under the effect of torque due to the difference in the diameters of the wheels of the wheelsets of the bogie. These are the modes that tramway coaches have in about 90% of the time of operation.