



ПРЕГЛЕД НА ХОДОВА ЧАСТ И СИЛОВО ПРЕДАВАНЕ НА ТРАМВАЙНИТЕ МОТРИСИ В ГРАД СОФИЯ

Божидар Колев¹⁾, Емил М. Михайлов²⁾
bk_kolev@abv.bg, emil.mihaylov@vtu.bg

¹⁾ „Столичен електротранспорт“ ЕАД,
София, ул. „Подполковник Калигин“ № 30,
²⁾ Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: трамвайни мотриси, колооси, ходова част, силово предаване.

Резюме: Материалът се отнася за трамвайните мотриси в град София. Разгледани са ходовата част и силовото предаване на трамвайни мотриси в парка на „Столичен електротранспорт“ ЕАД, движещи се в момента. Направен е преглед на различните конструкции на ходовата част на мотрисите. Показани са кинематичните схеми на силовото предаване и предаването на спирачното усилие. Направен е анализ на характеристиките на различните конструкции на ходовата част и силовото предаване на трамвайните мотриси.

УВОД

Трамвайните системи, за разлика от класическата железница, са регионални. Всяка трамвайна система е обособена в един град. Съответно всяка градска община, на чиято територия има трамвайна система въвежда различни изисквания към инфраструктурата и подвижния състав. Същевременно това дава и възможности на производителите на трамвайни возила да реализират различни конструктивни идеи, някои от които екзотични. Тези фактори до голяма степен могат да обяснят голямото разнообразие на трамвайни конструкции.

В исторически план също се открояват подобни тенденции. Може ясно да се забележи разпространението на нова конструктивна концепция или конструкция в повечето произведени в определен период от време, в т.ч. не само трамвайни возила.

Особено голямо разнообразие има при реновирането на трамвайните возила след определен пробег. Причината е, че това се прави от малки местни фирми. Те извършват ремонтите и внедряват оригинални конструктивни решения използвайки детайли от дребносерийни производства.

Трамваите в град София през годините не са изключение от световните тенденции. Към днешна дата в парка на „Столичен електротранспорт“ ЕАД са в експлоатация няколко типа трамвайни мотриси с различни конструкции на ходовата част и силовото предаване.

ТРАМВАИТЕ В СОФИЯ

В град София се движат следните трамвайни мотриси (ТМ) по марки и типове:

- ✓ Произведени в Завод за трамваи - София, типове: *T6M 700, T8M 700 M, T8M 503* - за междурелсие *1009 mm*, общо *17* броя.

Трамвайните мотриси типове *T6M 700, T8M 700 M, T8M 503* имат сходна конструкция [1, 2, 3]. Общите им характеристики са: еднаква конструкция на коша, еднакви двигателни и опорни талиги - Т 81 и Т_{ср.} 81, групово задвижване на колоосите чрез карданни валове, 2 броя тягови електродвигатели (ТЕД) - тип Т100М, инсталирана тягова мощност $2 \times 100 \text{ kW}$, еднакво управление на тягата - пусково-спирачни съпротивления, подпрени на опорни талиги съчленения, еднакви спирачки и др.

Разликите при тези ТМ са: броя на колоосите и секциите на коша - 6-осни и 2 секции - *T6M 700*, 8-осни и 3 секции - *T8M 700 M* и *T8M 503*; за еднопосочно движение - *T6M 700* и *T8M 700 M*, за двупосочно движение - *T8M 503*; управление на спирачката - с кран-машинист - *T8M 503*; и др.

- ✓ Произведени в Завод за трамваи - София и реновирани от Inekon Group, Острава, Р. Чехия, тип: *T8M 700 IT* - за междурелсие *1009 mm*, *18* броя.

Трамвайните мотриси тип *T8M 700 IT* са модернизирани ТМ произведени в София [4]. Мотрисите са 8-осни, трисекционни, с частично нисък под, за еднопосочно движение. Подпрени на опорни талиги тип Т_{ср.} 81 съчленения. Двигателните талиги са тип GT 03, с индивидуално задвижване на колоосите. Тягови електродвигатели - тип ТАМ 1004С/1000, инсталирана тягова мощност $4 \times 90 \text{ kW}$ индивидуално управлявани от тягови конвектори тип САС 100АМ.

- ✓ Произведени от ŠKD Pragoimex, Прага, Р. Чехия, типове: *T6A2-BG* и *T6A2-Sf* - за междурелсие *1009 mm*, *57* броя.

Трамвайните мотриси типове *T6A2-BG* и *T6A2-Sf* имат еднаква конструкция на коша, ходовата част и силовото предаване [5, 6]. Мотрисите са 4-осни, едносекционни за еднопосочно движение. Двигателните талиги са тип Pragoimex, с индивидуално задвижване на колоосите. Тягови електродвигатели - тип ТЕ023А, инсталирана тягова мощност $4 \times 45 \text{ kW}$.

- ✓ Произведени от ŠKD Pragoimex, Прага, Р. Чехия, типове: *T6A5* и *T6B5* - за междурелсие *1435 mm*, *92* броя.

Трамвайните мотриси типове *T6A5* и *T6B5* имат еднаква конструкция на коша, ходовата част и силовото предаване [7, 8]. Мотрисите са 4-осни, едносекционни за еднопосочно движение. Двигателните талиги са тип Pragoimex, с индивидуално задвижване на колоосите. Тягови електродвигатели на *T6B5* са тип ТЕ023А, инсталирана тягова мощност $4 \times 45 \text{ kW}$. Тягови електродвигатели на *T6A5* са тип ТЕ 026А02, инсталирана тягова мощност $4 \times 46,8 \text{ kW}$.

- ✓ Произведени от Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz SA, Бидгошч, Р. Полша, тип: *PESA 122NaSF Swing* - за междурелсие *1009 mm*, *67* броя.

Трамвайните мотриси тип *PESA 122NaSF Swing* [9] са 6-осни, петсекционни, с изцяло нисък под, за еднопосочно движение. Талигите са фиксирани към секциите на коша, съчлененията са плаващи. Двигателните талиги са тип 03PND, с индивидуално задвижване на колоосите. Инсталирана тягова мощност $4 \times 105 \text{ kW}$.

- ✓ Произведени от Schindler Waggon AG, Прателн, Швейцария, тип: *Be4/6S* - за междурелсие 1009 mm, 28 броя.

Трамвайните мотриси тип *Be4/6S* [10] са 6-осни, трисекционни, с частично нисък под, за еднопосочно движение. Средната секция е добавена допълнително и е поставена на две колички с по 2 независими колела, съчлененията са плаващи. Двигателните талиги са с групово задвижване на колоосите. Инсталирана тягова мощност $2 \times 150 kW$.

- ✓ Произведени от Duewag AG, Юрдинген, Германия, тип: *T8-401* - за междурелсие 1435 mm, 6 броя.

Трамвайните мотриси тип *T8-401* [11] са 8-осни, трисекционни, за двупосочно движение. Двигателните талиги са с групово задвижване на колоосите. Инсталирана тягова мощност $2 \times 150 kW$.

- ✓ Произведени в Завод за трамваи - София, ТМ за технологични превози и ремонти по релсовия път, тип: *T4M 50/300* - за двете междурелсия, общо 7 броя.

Освен изброените типове трамвайни мотриси в парка на „Столичен електротранспорт“ ЕАД са останали няколко единични бройки ТМ от изведени от употреба типове, които са със сходни конструкции на ходовата част и силовото предаване.

ХОДОВА ЧАСТ

Ходовата част на изброените по-горе трамвайни мотриси са двуосни талиги. Изключение правят само *Be4/6S*, чиято средна секция е на две опорни колички с по 2 независими колела. Талигите са двигателни и опорни, като при различните типове са с едностепенно и двустепенно ресорно окачване. Всички талиги са оборудвани със спирачни апарати и електромагнитни релсови спирачки. От 2018 година бандажите са с профил *RPSf-2018*, заменил дълго използвания бандажен профил Т81 [12, 13, 14, 15].

Трамвайната талига Т 81 (ТМ типове *T6M 700*, *T8M 700 M*, *T8M 503*) [1, 2, 3] е двуосна, с двустепенно ресорно окачване, ленкерно водене на буксите, с групово задвижване на колоосите. Ресорните степени се състоят от пакети цилиндрични винтови пружини. Рамата на талигата е Н-образна с пространствено разположение на гредите. Колоосните редуктори са двустъпални цилиндрично-конусни, като през годините са разработени три модела намиращи се паралелно в експлоатация. Нейната разновидност Т_{ср.} 81 е опорна талига, чиято конструкция е съобразена с липсата на силово предаване. Спирачките са барабанни от постоянно отворен тип, барабанно-челюстни, с едностранно действие, с пневматичен привод [16, 17]. Спирачният барабан е монтиран на колооса между колоосния редуктор и далечното му колело. Връзката на талигата с коша е централен болт, чийто лагер е в надресорната греда.

Талигите на трамвайните мотриси произведени от ŠKD Pragoimex (ТМ типове *T6A2-BG*, *T6A2-Sf*, *T6A5* и *T6B5*) са двуосни с едностепенно ресорно окачване само в ЦРС, твърдо водене на буксите и индивидуално задвижване на колоосите. Изключение са ТМ тип *T6A5*, при които буксовото окачване е цилиндрични винтови пружини. Като цяло мотрисите, в т.ч. талигите са на базата на произвежданите в САЩ през 30-те години на ХХ век. Рамите на талигите са съставни, състоят се от два еднакви Т-образни компонента свързани с еластични елементи, като на напречните греди са монтирани тяговите електродвигатели. Талигите имат два модела - за нормално и тясно междурелсие. Като буксовите лагери на талигите за нормално междурелсие са разположени от вътрешната страна на колелата. Спирачките са от постоянно затворен тип, с електромагнитно задействане и механичен привод. Спирачните барабани и дискове са монтирани на валове на роторите на тяговите електродвигатели. Връзката на талигата с коша е централен болт, чийто лагер е в надресорната греда.

Двигателните талиги GT 03 на ТМ реновирани от Inekon Group тип: *T8M 700 IT* са двуосни с двустепенно ресорно окачване и индивидуално задвижване на колоосите. Рамите на талигите са съставни, състоят се от два еднакви Т-образни компонента свързани с еластични елементи, като на напречните греди са монтирани тяговите електродвигатели. ЦРС се състои от последователно действащи метало-гумен ресор и пакет цилиндрични винтови пружини. БРС се състои от метало-гумени пакети. Спирачките са от постоянно затворен тип, с хидравличен привод. Спирачните дискове са монтирани на валовете на роторите на тяговите електродвигатели. Връзката на талигата с коша е централен болт, чийто лагер е в надресорната греда. Опорните талиги са Т_{ср.} 81, като след модернизацията са добавени хидравлични демпфери в ЦРС и барабанните спирачки са заменени с дискови.

Талигите на ТМ тип *PESA 122NaSF Swing* [9] са двуосни, с двустепенно ресорно окачване, с шпинтонно водене на буксите и индивидуално задвижване на колоосите. Тъй като ТМ са изцяло нископодови талигите са фиксирани към коша, а ТЕД и спирачните апарати са изнесени извън рамата на талигата. Централната ресорна степен се състои от пакети от цилиндрични винтови пружини, които в горния си край са подпрени в усилен пояс на коша. Шпинтоните на буксовото окачване са оформени с метало-гумени пакети. Рамата на талигите е заварена конструкция с пространствена форма. Спирачките са от постоянно затворен тип, с хидравличен привод. Спирачните дискове са монтирани в единия край на колоосите извън колелата. Като на опорните талиги са монтирани 4 броя спирачни апарати, по 2 на всяка колоос. Връзката на талигата с коша са 8 броя хидравлични демпфери и 2 броя реактивни щанги. Положението на талигата се определя от централен болт, чийто лагер е в ексцентрична греда в геометричния център на талигата. Талигите са две разновидности: двигателна - 03PND и опорна - 03PTD.

Талигите на трамвайните мотриси типове *Be4/6S* и *T8-401* [10, 11] са серийно производство на Siemens след средата на XX век. Те са двуосни с групово задвижване на колоосите, с двустепенно ресорно окачване. Оригиналността на конструкцията е, че корпусите на ТЕД, редукторите и колоосите са част от носещата конструкция, а над тях има рамка, която осигурява двете степени на окачването. Спирачките са барабанни от постоянно затворен тип, с пневматичен привод. Спирачният барабан е монтиран на колооста между колоосния редуктор и далечното му колело. Връзката на талигата с коша е централен болт, чието легло е в надресорната греда.

СИЛОВО ПРЕДАВАНЕ

Силово предаване на трамвайните возила през годините е имало разнообразни конструкции и кинематични схеми. В различни периоди е имало водещи тенденции при конструктивните решения. Някои от които съществуват и са в експлоатация и днес.

Може да се каже, че най-разпространено е индивидуалното задвижване на колоосите. Основно има различия при разположението на тяговите електродвигатели - успоредно или перпендикулярно на колоосите. Т.нар. „трамвайно окачване“ - опорно-осево окачен ТЕД - не се среща при новите производства.

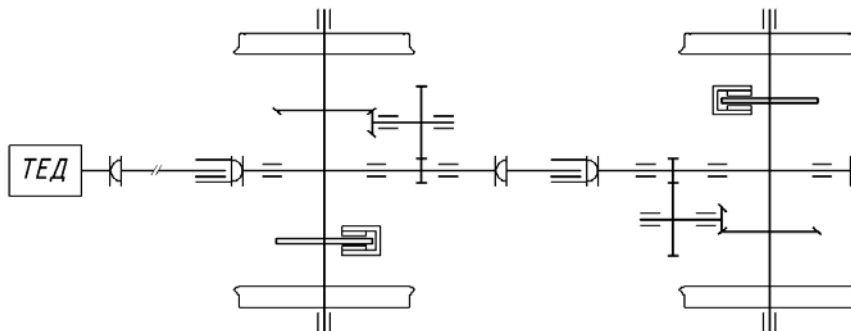
Груповото задвижване на колосите изисква значително по-малки разлики в диаметрите на колелата на задружно задвижваните колооси. Това условие в определена степен усложнява поддръжката на ходовата част.

Новите изисквания за изцяло нископодови возила налагат съществени принципни изменения в конструкцията на талигите и силовото предаване. Тяговото оборудване, силовото предаване и спирачните апарати са монтирани от външната страна на рамата.

Силово предаване на изброените по-горе, експлоатирани в София, трамвайни мотриси най-общо може да се разгледа по няколко признака. Тук е приет признакът по начина на задвижване на колоосите - групово и индивидуално.

Талиги с групово задвижване на колоосите

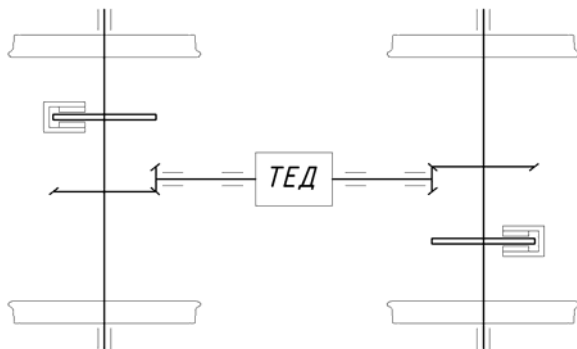
Силовото предаване на ТМ типове *T6M 700*, *T8M 700 M*, *T8M 503* има еднаква конструкция [1, 2, 3], талиги Т 81. Кинематичната схема е показана на фигура 1. Тяговият електродвигател е окачен на рамата на коша. Движението се предава към колоосните редуктори чрез карданни валове - дълъг от ТЕД и къс между редукторите. Колоосните редуктори са двустъпални цилиндрично-конусни с предавателно число 1:7,059. През периода на експлоатация са разработени 3 типа редуктори, които работят паралелно и в момента.



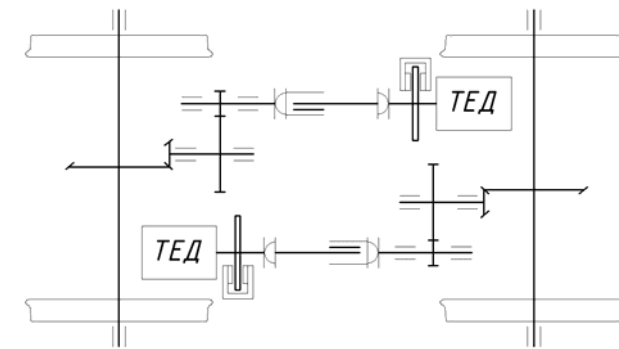
Фиг. 1. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ типове *T6M 700*, *T8M 700 M*, *T8M 503*.

Спирачните барабани са монтирани на колоосите между колоосните редуктори и далечните им колела.

Силовото предаване на ТМ типове *Be4/6S* и *T8-401* има сходна конструкция [10, 11]. Кинематичната схема е показана на фигура 2. Тяговият електродвигател е разположен в геометричния център на талигата. Движението се предава към колоосите чрез конусни предавки с предавателно число 1:5,63.



Фиг. 2. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ типове *Be4/6S* и *T8-401*.



Фиг. 3. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ типове *T8M 700 IT*, *T6A2-BG* и *T6A2-Sf*.

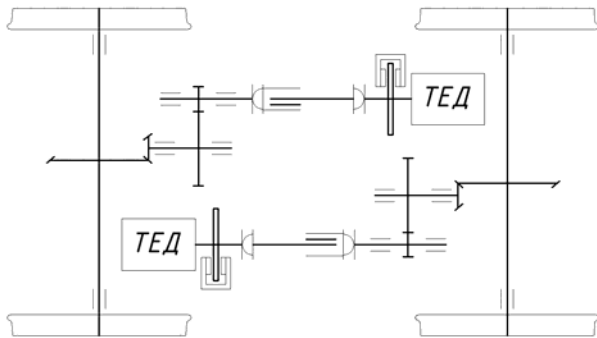
Спирачните барабани са монтирани на колоосите между колоосните редуктори и далечните им колела.

Талиги с индивидуално задвижване на колоосите

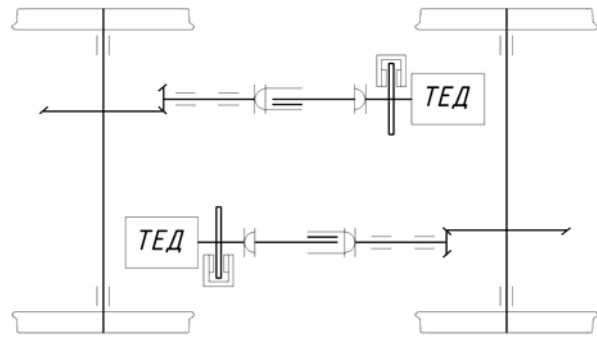
Силовото предаване с индивидуално задвижване на колоосите е при ТМ типове *T8M 700 IT*, *T6A2-BG* и *T6A2-Sf* за тясно междурелсие и за *T6A5* и *T6B5* за нормално междурелсие. Тяговите електродвигатели са окачени на напречните греди на рамата на талигата и са перпендикулярно на колоосите. Движението от ТЕД до колоосния редуктор се предава с карданен вал. Редукторите са двустъпални цилиндрично-конусни с предавателно число 1:8,775.

Спирачният апарат за всяка колоос е монтиран на вала на ротора на ТЕД, който я задвижва.

На фигура 3. е показана кинематичната схема на талигите за тясно междурелсие. Макар, че ТМ тип *T8M 700 IT* са тип GT 03 кинематичната схема е еднаква с тази на *T6A2-BG* и *T6A2-Sf*. Спирачните апарати са с хидравличен привод.



Фиг. 4. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ тип *T6B5*.

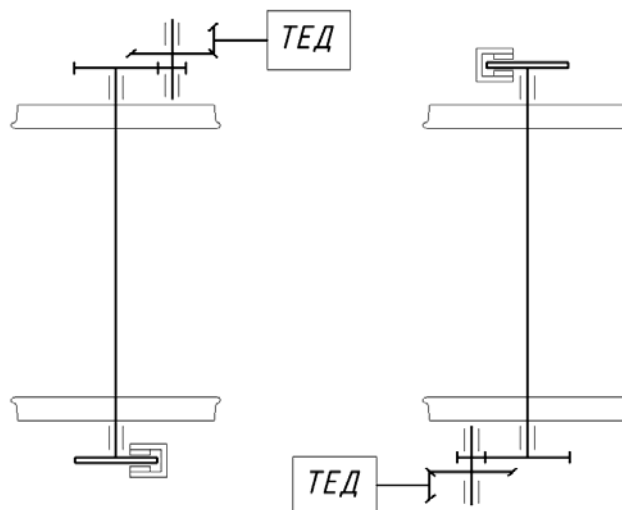


Фиг. 5. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ тип *T6A5*.

Разликата в схемите на талигите за тясно и нормално междурелсие е разположението на буксите върху колоосите. Докато на талигите за тясно междурелсие буксовите лагери в краищата на осите, то при тези за нормално междурелсие буксите са от вътрешната страна на колелата. Разлика при типовете ТМ *T6A5* и *T6B5* са вида на колоосните редуктори. При тип *T6B5* колоосните редуктори са двустъпални цилиндрично-конусни (фиг. 4.), а при тип *T6A5* са едностъпални (фиг. 5.).

Силовото предаване при трамвайните мотриси тип *PESA 122NaSF* е принципно различно от описаните до тук (фиг. 6.). Тяговите електродвигатели и колоосните редуктори са в общ корпус и са монтирани извън рамата на талигата. Редукторите са двустъпални цилиндрично-конусни с предавателно число 1:6,032. Движението се предава към колоосите чрез еластичен съединител.

Спирачните апарати на всяка от двигателните колооси са монтирани на противоположния на съединителите край на колосите. Колоосите на опорните талиги имат спирачни апарати от двете страни.



Фиг. 6. Кинематична схема на силовото предаване при ТМ тип *PESA 122NaSF Swing*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Към днешна дата в парка на „Столичен електротранспорт“ ЕАД в експлоатация за пътнически превози са общо 279 трамвайни мотриси - 187 за междурелсие 1009 *mm* и 92 за нормално междурелсие. Общият брой на талигите за тези ТМ е 1384 броя, от тях двигателни са 1116 броя и опорни - 268. За тясно междурелсие са 1016 броя, от тях двигателни са 748 и опорни - 268 броя. За нормално междурелсие са само двигателни - 368 броя.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т6М 700, Завод за трамваи - София.
- [2] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т8М 700 М, Завод за трамваи - София.
- [3] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т8М 503, Завод за трамваи - София.
- [4] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т8М 700 IT, Inekon Group, Ostrava, Czech Republic.
- [5] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т6А2-ВG, ČKD Pragoimex, Praha, Czech Republic.
- [6] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т6А2-Sf, ČKD Pragoimex, Praha, Czech Republic.
- [7] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т6А5, ČKD Pragoimex, Praha, Czech Republic.
- [8] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т6В5, ČKD Pragoimex, Praha, Czech Republic.
- [9] Конструктивна документация на трамвайни мотриси PESA 122NaSF Swing, Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz SA, Bydgoszcz, Poland.
- [10] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Be4/6S, Schindler Waggon AG, Pratteln, Швейцария.
- [11] Конструктивна документация на трамвайни мотриси Т8-401, Duewag AG, Uerdingen, Germany.
- [12] Жеков В., „Анализ на контактните повърхности при бандажни профили Т81 и PRSf - 2018 с профили на релси, използвани в градския релсов път на град София“, „Механика Транспорт Комуникации“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2023 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 21, брой 3/1, 2023 г., № 2420.
- [13] Vladimir Zhekov, „Study of the interaction between the RPSf 2018 rim profile and rail profiles applied in the tram track of the city of Sofia“, AIP Conf. Proc. 3104, 020008 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0199062>
- [14] Zhekov V., „Study of the contact between design profiles of rails and rims used in the tram track of the city of Sofia“, XI International Scientific Conference Heavy Machinery HM 2023, Vrnjačka Banja, Сърбия, 2023 г.
- [15] Lepoev M., Zhekov V., „Study of the interaction of a modified rim profile with rail profiles in the tram track of the city of Sofia“, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1297, National transport infrastructure conference with international participation, 05/10/2023 - 07/10/2023, Nessebarq Bulgaria, DOI 10.1088/1757-899X/1297/1/01201.
- [16] Иван Ганчев, "Модул за регулиране на налягането на газови инсталации", „Механика Транспорт Комуникации“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2024 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 22, брой 1, 2024 г., № 2454.

[17] Ivan Ganchev Ganchev, „Safety valves used in pressure facilities and vessels“, IX Международна научна конференция "Високи технологии. Бизнес. Общество", Боровец, 2024 г., ISSN PRINT 1313-0226, ISSN WEB 1314-507X, YEAR XVIII, ISSUE 2/2024.

OVERVIEW AN BOGIES AND TRANSMISSION OF TRAMS IN SOFIA

Bozhidar Kolev, M.Eng.¹⁾, Emil M. Mihaylov, Ph.D. M.Eng.²⁾
bk_kolev@abv.bg, emil.mihaylov@vtu.bg

¹⁾ ***Sofia Public Electrical Transport Company JSC, Sofia,***

²⁾ ***Todor Kableshkov University of Transport,***

158 Geo Milev Street, Sofia 1574,

BULGARIA

Key words: *trams, wheelsets, bogies, transmission.*

Abstract: *The material refers to trams in Sofia. The paper deals with the bogies and the transmission of the trams in the fleet of Sofia Public Electrical Transport Company JSC, which are currently in operation. An overview of the different bogies of the trams is given. The kinematic schemes of power transmission and brake force transmission are shown. An analysis is made of the characteristics of the different bogies designs and power transmission of the trams.*