Механика Транспорт Комуникации

ISSN 1312-3823 (print)
ISSN 2367-6620 (online)
том 21, брой 3/1, 2023 г.

Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 2419**

ОСОБЕНОСТИ НА ГАБАРИТНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ ПРИ ТРАМВАЙНИЯ ПОДВИЖЕН СЪСТАВ

Емил М. Михайлов
emm_1968@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков"
София, ул. „Гео Милев" № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *трамваен габарит, габаритни изчисления, трамваи.*

Резюме: *Този материал се отнася за габаритните изчисления на трамвайните возила. Трамваите са предназначени за движение в градска среда, която често е формирана много преди изграждането на трамвайната система. Освен това имат и конструктивни особености, които произтичат от изискванията за пътнически превози. Предвид особеностите на трамвайния подвижен състав, обусловени от предназначението и средата, в която работи, се налагат допълнения към утвърдената методика за габаритни пресмятания на подвижния железопътен състав. Утвърденият модел за габаритни изчисления на ПЖПС е допълнен, така, че да се прилага за габаритни изчисления на трамвайните возила като се отчитат техните особености.*

1. УВОД

Трамвайните возила са предназначени за извършване на пътнически превози в градска среда, която често е формирана много преди изграждането на трамвайната система. Освен това имат и конструктивни особености, които произтичат от изискванията за пътнически превози. Предвид особеностите на трамвайния подвижен състав (ТрПС), определени от предназначението и средата, в която работи, се налагат допълнения към утвърдената методика за габаритни пресмятания на подвижния железопътен състав.

2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГАБАРИТА НА ПЖПС

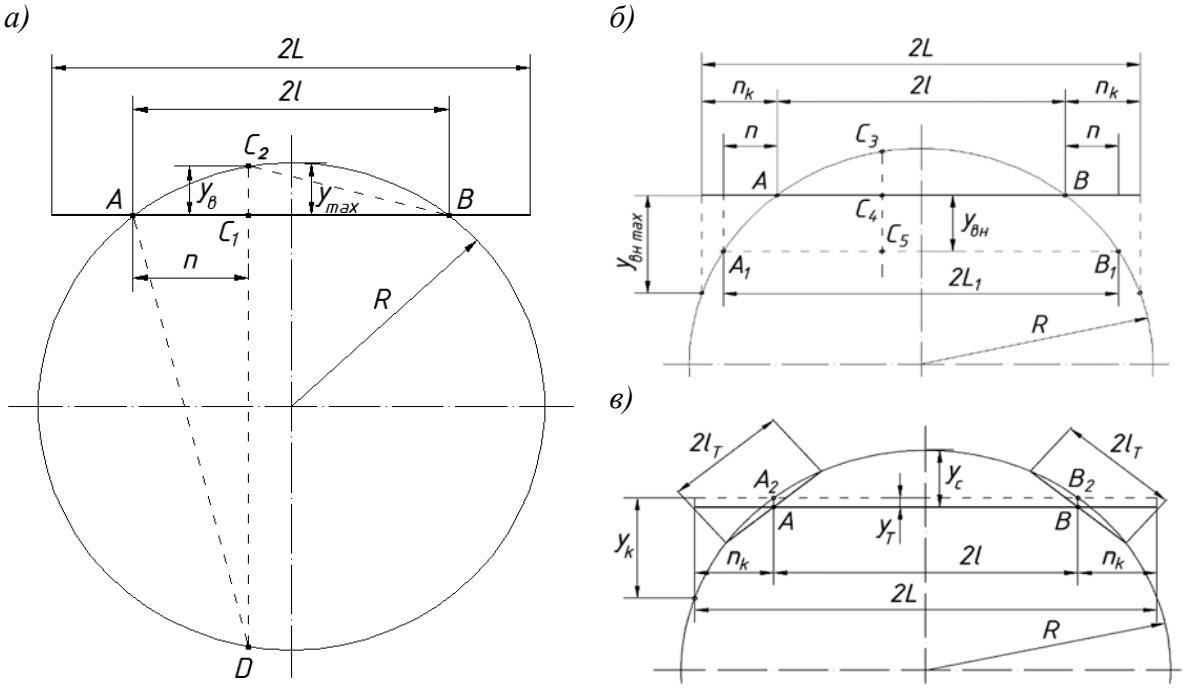
Едно от основните условия за безопасно движение на железопътните возила е спазване на габаритните изисквания. Т.е. да няма контакт между подвижния състав (ПС) и елементите на инфраструктурата или с подвижния състав намиращ се на съседен коловоз. За изпълнение на това условие са въведени два габарита [1, 2, 3, 4]:

- *Строителен габарит* – определящ рамката, вътре в която не може да има части от инфраструктурата, строителни съоръжения, други намиращи се в непосредствена близост до коловозите.
- *Габарит на подвижния състав* – определящ максималните допустими размери на возилата в напречното им сечение.

Строителният габарит се определя в нормите на UIC и националните железопътни администрации. Тъй като международните норми се усъвършенстват това изисква тяхното своевременно синхронизиране на национално ниво [5, 6].

Габаритът на возилата се пресмята при тяхното проектиране. При изчисляване на строителното очертание на возилото се определя на подаването на коша навътре и навън при преодоляване на крива. При пресмятането се вземат предвид изместванията на ПС в износвания на възлите на ходовата част.

Изчислителните схеми са показани на фигура 1. [1, 2, 3, 4].



Фиг. 1. Изчислителни схеми за определяне на изнасянето на ПЖПС навътре и навън в крива

От тях са получени зависимостите за талигови возила. Съответно за т. нар. „направляващи сечения“ - сеченията навозилото преминаващи през централните болтове на талигите (1), подаването на коша навътре в кривата (2) и подаване на конзолните части навън от кривата (3).

(1) $$E_0 = S_n - d_p + q + w + \frac{l_T^2}{2R}$$

(2) $$E_B = S_n - d_p + q + w + \frac{(2l - n)n}{2R} + \frac{l_T^2}{2R}$$

(3) $$E_{Bн} = (S_n - d_p + q + w)\frac{l + n}{l} + \frac{(2l - n)n}{2R} - \frac{l_T^2}{2R}$$

където: $2S_n$ - най-голямата широчина на релсовия път в кривата с предписания изчислителен радиус.

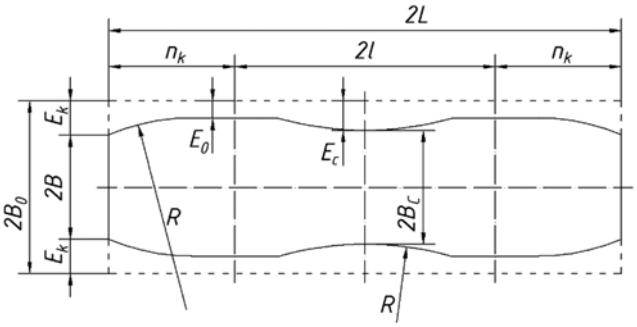
$2d_p$ - най-малкото разстояние между външните стени на гранично износени реборди на колелата.

q - максимално хоризонтално изместване на буксовия възел от средното положение.

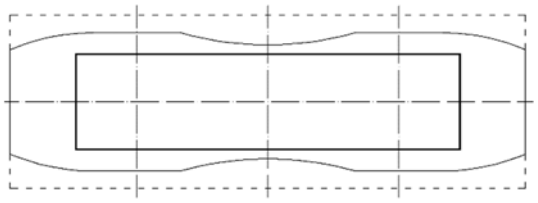
w - максимално хоризонтално изместване на надресорната греда на талигата от средното положение в резултат от еластичността на пружините от ЦРО или преместване на люлката и износването на централния лагер и леглото му.

$2L$ - дължина на коша на возилото.
$2l$ - дължина на базата на возилото.
$2l_T$ - дължина на базата на талигата.
R - радиус на кривата.
A, B - напречни сечения на коша (направляващи, опорни), минаващи през централните лагери на талигите.
y_B - изместване на сеченията на коша между направляващите сечения.
n - текуща координата, като $0 \le n \le l$.
y_C - изместване на сеченията на коша между централните лагери на талигите навътре в кривата.
y_K - максимално изместване на конзолните части на возилото навън от кривата.

В резултат на пресмятанията по горните зависимости се построява габаритната рамка (фиг. 2.), в която се разполага габаритното очертание на коша (фиг. 3.).



Фиг. 2. Габаритна рамка



Фиг. 3. Разположение на очертанията на коша в габаритната рамка

3. ОСОБЕНОСТИ НА ТрПС И ТРАМВАЙНИТЕ СИСТЕМИ ОТНАСЯЩИ СЕ ДО ГАБАРИТНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ

3.1. Особености на *трамвайните возила*, влияещи на габаритните изчисления:
- 3.1.1. Еластични елементи в конструкцията на колелата;
- 3.1.2. Прилагане на талиги въртящи се около централен болт, талиги с ограничено завъртане и фиксирани към коша талиги;
- 3.1.3. Особена конструкция на теглично-отбивачните съоръжения;
- 3.1.4. Различни изисквания към компановката на возилата.

3.2. Особености на *трамвайните системи*, влияещи на габаритните изчисления:
- 3.2.1. Значително по-малките радиуси на хоризонталните криви;
- 3.2.2. Липса на преходни криви;
- 3.2.3. Вертикални криви с по-малки радиуси;
- 3.2.4. Според градската среда - крива и последваща контракрива без преходна зона;
- 3.2.5. Различни габаритни норми във всяка трамвайна администрация.

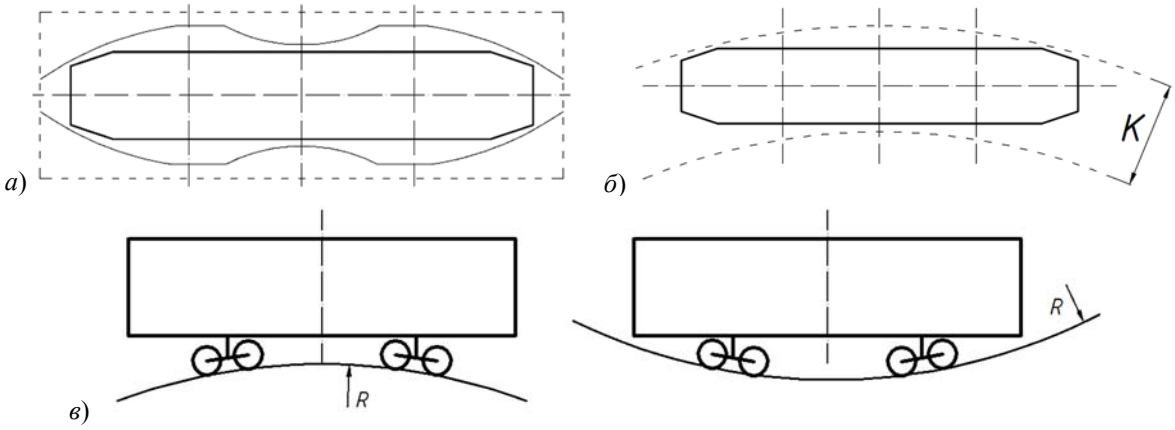
3.3. Влияние на особеностите на ТрПС и трамвайните системи.

Макар и групирани по горния начин упоменатите особености имат, както самостоятелно, така и комбинирано влияние. Като цяло по-голямо и първично значение имат характерните особености на трамвайните системи.

Малките радиуси на кривите налагат ограничение на базата на коша (фиг. 4.а), това от своя страна намалява дължината на возилото и съответно пътниковместимостта. Компенсирането на късата база е с удължаване на конзолните части, същевременно

те също имат ограничение, което частично се компенсира от скосяването им в различна степен (фиг. 4.б). Същите ограничения се налагат от вертикалните криви (фиг. 4.в).

Удължените конзолни части на возилата налагат особена конструкция на прикачните им съоръжения. Те се монтират навътре от челната стена и трябва да имат дължина, която да осигурява достатъчно разстояние между две прикачени трамвайни мотриси. Тъй като в процеса на преодоляване на крива или поредни крива и контракрива вертикалните ръбове на две прикачени мотриси няколкократно се разминават, то дължината и мястото на закрепване на прикачните съоръжения трябва да е подходящо избрано.



Фиг. 4. Ограничения при габаритните изчисления от особеностите на трамвайната система

Изследване на пазара на трамвайни возила направен от Gianluca Megna и Andrea Bracciali през 2022 година [7] показва изключително разнообразие в компановката на ТрПС. Материалът „Technical Comparison of Commercially Available Trams and Review of Standardization Frame and Design Principles“ е публикуван в Urban Rail Transit. Различните норми за релсов път и разнообразните изисквания към компановката на трамвайните мотриси в различните градове въвеждат допълнителни ограничения.

Изискването за изцяло нисък под на градските пътнически возила налага ограничение в завъртането на талигите. При нископодовите трамвайни мотриси се прилагат фиксирани към коша или ограничено завъртащи се талиги. Това налага в конструкцията на коша да се предвиждат допълнителни секции и плаващи съчленения.

Общо условие към возилата за градски пътнически превози са еластичните елементи в колелата.

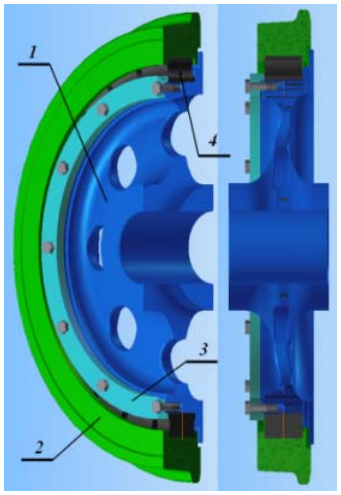
4. ЕЛАСТИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ В КОЛЕЛАТА НА ТРАМВАЙНИТЕ ВОЗИЛА

Еластичните елементи в колелата на трамвайните мотриси имат за цел да поглъщат нискочестотните вибрации при движението по релсовия път. Най-широко приложение при трамвайните возила са получили колелата с венец от гумени тампони между главината и бандажа на колелото (фиг. 5.). Колелото има еластичните елементи (4). Те са подредени във венец между главината (1) и бандажа (2). На фигурата е показан разрез на колело за произвежданите трамвайни мотриси в „Завод за трамваи – София“. В съвременните конструкции тампоните са променена форма като най-често имат V-образно напречно сечение. Тази конструкция на колелото позволява преместване на бандажа спрямо главината в определени граници.

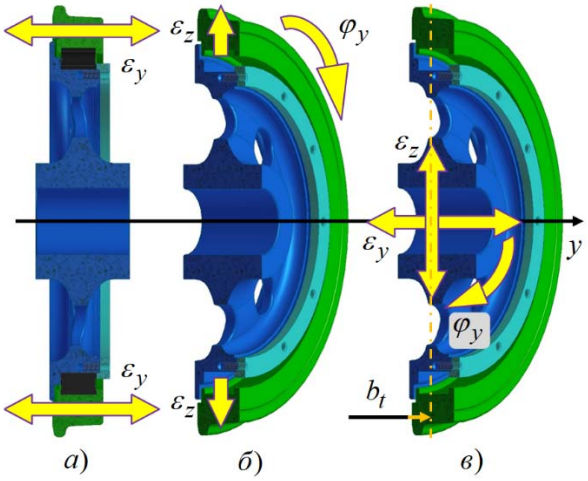
На фигура 6. са показани възможните премествания на бандажа на трамвайното колело спрямо главината.

- преместване ε_y по оста y (фиг. 6.а);
- преместване ε_z по оста z (фиг. 6.б);
- завъртане φ_y по оста y (фиг. 6.в).

Преместването ε_z на бандажа по оста z е под действието на вертикални сили – от натоварването и неравностите на пътя. По напречната хоризонтална ос y преместванията са две. Осево преместване ε_y в резултат от направляващата сила, напречната сила при лъкатушене на талигата и при продължителен контакт на реборда с главата на релсата при дълго пропадане на едната релса. И завъртане около напречната хоризонтална ос φ_y вследствие на действието на двигателния и спирачния моменти.

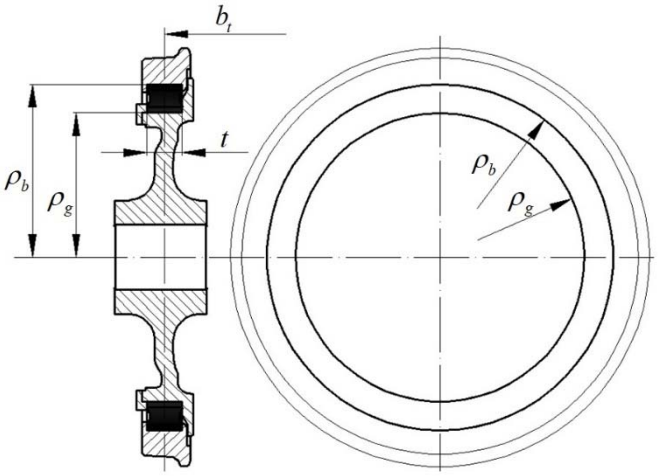


Фиг. 5. Конструкция на трамвайно колело тип „Bochum 54”

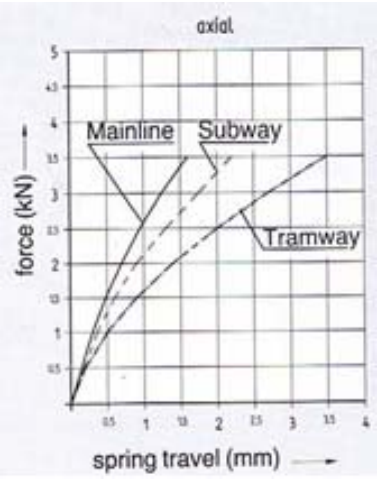


Фиг. 6. Премествания на бандажа спрямо главината на колелото

Показаната на фигура 7. схема на еластично колело е аналогична на гумено-метален шарнир [8].



Фиг. 7. Параметри на венеца от еластични елементи



Фиг. 8. Диаграма на аксиалното изместване на бандажа спрямо главината при еластично колело тип „Bochum 54”

Изхождайки от фигура 7. преместванията на бандажа спрямо главината на колелото се описват със следните зависимости:

(4) $$\varepsilon_z = \frac{2P_z}{3\pi Gt} \cdot \frac{t^2 + 3\left(r_g + r_b\right)^2}{t^2 + 6\left(r_b - r_g\right)^2} \cdot \frac{\left(r_b - r_g\right)^3}{\left(r_g + r_b\right)^3}$$

(5) $$\varepsilon_y = \frac{P_y}{2\pi Gt} \cdot \ln \frac{r_b}{r_g}$$

(6) $$\varphi_y = \frac{M_y}{4\pi Gt} \cdot \frac{r_b^2 - r_g^2}{r_g^2 . r_b^2}$$

където: M_y - двигателен или спирачен моменти;

P_y, P_z - осева или радиална сила;

G - модул на ъглова деформация;

t - ширина на венеца от еластични елементи;

ρ_g, ρ_b - радиуси на главината и бандажа.

Интерес представлява аксиалното преместване на бандажа ε_y. На фигура 8. е показана диаграмата за аксиалното преместване на бандажа спрямо главината. При сила от 3,5 *kN* преместването ε_y е 3,5 *mm* [9].

5. ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ГАБАРИТНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА ТРАМВАЙНИТЕ ВОЗИЛА

Аксиалното преместване на бандажната гривна спрямо главината ε_y при преодоляване на крив участък от пътя е под действието на направляващата и центробежната сили. По големина това преместване е съпоставимо с преместванията q и w залегнали в (1), (2) и (3). А в някои случаи и по-голямо. Това налага ε_y да се взема под внимание при габаритните изчисления на трамвайния подвижен състав. Тогава формулите (1), (2) и (3) ще придобият следния вид:

(7) $$E_0 = S_n - d_p + q + w + e_y + \frac{l_T^2}{2R}$$

(8) $$E_B = S_n - d_p + q + w + e_y + \frac{(2l - n)n}{2R} + \frac{l_T^2}{2R}$$

(9) $$E_{Bн} = \left(S_n - d_p + q + w + e_y\right)\frac{l + n}{l} + \frac{(2l - n)n}{2R} - \frac{l_T^2}{2R}$$

Така получените формули могат директно да се прилагат при габаритните изчисления на четириосни едносекционни трамвайни возила аналогично на локомотивите и вагоните в железницата.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Добавеното във формулите за габаритни пресмятания на ПЖПС напречно преместване на бандажите е характерно за всички трамвайни возила. Независимо от различията в компановката на разнообразните видове и типове трамвайни мотриси еластичните колела винаги са част от конструкцията на релсовите возила за градски пътнически превози.

ЛИТЕРАТУРА:
[1] Караджов, Т., Димитров Ж., „Вагони“, Техника, София, 1988.
[2] UIC code 505-1, Rolling stock construction gaude
[3] EN 15273-3. Railway applications – Gauges
[4] Кузьмич, Л. Д. & Co, „Вагоны“, Машиностроение, Москва, 1978.
[5] Milcho LEPOEV, Lazar GEORGIEV, Vladimir ZHEKOV, „Analysis of the interface between national applicable gauge in the Bulgarian network and gauge GC, BG AND GA“, XIX Scientific - expert conference RAILCON'20, Ниш, Сърбия, 2020 г.,
[6] Лепоев М., Жеков В., Хармонизация на националните нормативни документи за проектиране на железен път с изискванията на регламент 1299/2014., Научно списание „Механика Транспорт Комуникации“, том 17, брой 3, 2019 г.
[7] Gianluca Megna, Andrea Bracciali, „Technical Comparison of Commercially Available Trams and Review of Standardization Frame and Design Principles“, Urban Rail Transit (2022) 8(1):16–31 https://doi.org/10.1007/s40864-021-00163-6
[8] Ружеков Т., Пенчев Ц., Димитров Е., „Теория и конструиране на железопътна техника”, ВТУ, София, 2011 г.
[9] Bochumer Verein Verkehrstechnik GmbH, Rubber Cushioned Single Ring Wheels, Bochum, Германия, 1989 г.

SPECIFICS OF DIMENSIONAL CALCULATION FOR TRAMWAY ROLLING STOCK

Emil M. Mihaylov
emm_1968@abv.bg

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

Key words: *tram gauge, dimensional calculation, tramway*

Abstract: *This material refers to the dimensional calculations of tram vehicles. Trams are designed to run in an urban environment that was often formed long before the tram system was built. In addition, they also have design features that arise from the requirements for passenger transport. Given the specificities of the tram rolling stock, determined by the purpose and the environment in which it operates, additions to the established methodology for dimensional calculations of the rolling stock are required. The approved model for dimensional calculations of public transport has been supplemented so that it is applied to dimensional calculations of tram vehicles, taking into account their features.*