

УПРАЖНЕНИЕ

№2

“Изчисление на вагонна
колоос”

За якостна оценка на една вагонна колоос е необходимо:

- да се определят максималните възможни натоварвания, действащи едновременно върху нея;
- да се избере метод за изчисление;
- да се установят напреженията в най-заstraшените сечения;
- да се сравнят максималните напрежения с допустимите и се направи извод за здравината на колооста.

2.1 Сили, действащи на вагонна колоос

Колооста изпитва въздействието на почти всички натоварвания, действащи върху вагона. Определянето на основните сили се прави при най-неблагоприятни възможни експлоатационни условия [1,2,3,4].

Вертикално статично натоварване

Натоварването на една шийка от колооста от брутно тегло на вагона се разпределя по следната зависимост:

$$P_{CTш} = (P_{БР} - n \cdot q_k) / 2n, \text{ kN},$$

където $P_{CTш}$ е вертикалното статично натоварване, действащо върху една шийка. Прилага се в средата на осната шийка, kN; $P_{БР}$ - брутно тегло на вагона, равно на сумата от тарата T и максималната товароносимост Q ($P_{БР} = T + Q$), kN; n - брой на осите на вагона; q_k - тегло на една колоос. В зависимост от конструкцията на колооста $q_k = 10,89 \div 12,4$ kN.

Вертикално динамично натоварване

При движение на вагона по реален железен път се получават динамични сили, които зависят от конструкцията на вагона и преди всичко от неговото ресорно окачване, скоростта на движение, както и техническото състояние на железния път и вагона.

Определя се по следната формула: $P_D = k_{ВД} \cdot P_{CTш}, \text{ kN},$

където $k_{ВД}$ или k_D е коефициентът на вертикална динамика.

За приближени изчисления коефициентът на вертикална динамика $k_{ВД}$ може да се приеме в определени граници, за определена конструкция може да се определи емпирично, но най-често се изчислява по формули, получени от статическа обработка на опитни данни и теоретичен анализ. При изчисляване на вагонни колооси се препоръчва формулата на ЦНИИ МПС:

$$k_{ВД} = \lambda_B \cdot (A + B \cdot v / f_{CT}),$$

където λ_B е параметър, зависещ от броя на колоосите в талигата; A - параметър, зависещ от провисването на ресорното окачване; B - параметър, зависещ от типа на вагона; v - скорост на вагона, m/s; f_{CT} - статичен провис на ресорното окачване; за товарни вагони с едностепенно ресорно окачване $f_{CT} = 0,018 \div 0,05$ m, за пътнически вагони с двустепенно ресорно окачване $f_{CT} \geq 0,1$ m ($f_{CT} = 0,15 \div 0,35$ m).

Стойностите на A , B и λ_B са дадени в таблица 2.1.

Поради несиметричност на трептенията, действащи при движение на вагона, вертикалното динамично натоварване се прилага на едната шийка, а на другата се приема равно на нула.

Вертикално натоварване на осните шийки, предизвикано от действието на центробежната сила

Центробежната сила H_C е хоризонтална сила, появяваща се при движение на вагона в крива, насочена в противоположна посока на центъра на кривата. Тя действа върху целия вагон. Като съсредоточена сила се прилага в масовия център на вагона. Определя се при минимален радиус на кривата и максимално допустимата скорост за този радиус.

Упражнение № 2 „Изчисление на вагонна колоос“

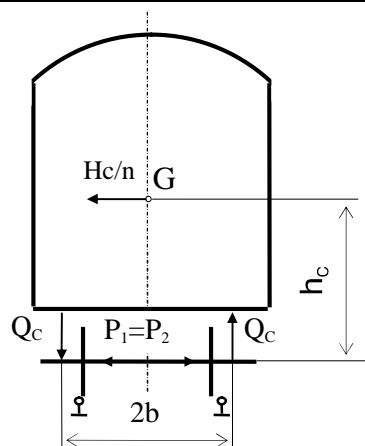
$$H_C = P_{БРК} \cdot \left(\frac{v^2}{R \cdot g} - \frac{h}{2s} \right),$$

където $P_{БРК}$ е брутно натоварване на коша, kN; v - скорост на вагона, m/s; радиуса на кривата, m; g – земното ускорение; h – надвишението на външната релса, m; $2s$ – разстоянието между кръговете на търкаляне на колелата от една колоос, m.

Ако по оста на колооста се приложат две взаимно уравновесяващи се сили $P_1 = P_2 = H_C / n$, съгласно фиг. 2.1, успоредни на H_C / n , равновесието на системата не се изменя. Силите H_C / n и P_2 образуват двойца, която може да се замени с двойцата Q_C Q_C .

таблица 2.1

№	Тип на вагона	v, m/s	A	B.10 ⁻⁴	D	λв	λх	δ
1.	Товарни 4 - осни	15÷33	8,125.(f _{СТ} -0,0463)	5,94	13,2	1,0	1,0	1,00
2.	Товарни 6 - осни	15÷33	8,125.(f _{СТ} -0,0463)	5,94	13,2	0,9	0,9	1,00
3.	Товарни 8 - осни	15÷33	8,125.(f _{СТ} -0,0463)	5,94	13,2	0,8	0,8	1,00
4.	Хладилни	15÷40	0,06	4,14	13,2	1,0	1,0	0,94
5.	Пътнически	15÷33	0,06	5,94	13,2	1,0	1,0	0,94
6.	Пътнически	33÷45	0,06	5,94	11,5	1,0	1,0	0,94



Двойците са еквивалентни ако лежат в една равнина, имат еднаква посока на въртене и равни моменти, т.е.:

$$(H_C / n) \cdot h_C = Q_C \cdot 2b, \text{ откъдето } Q_C = H_C \cdot h_C / (n \cdot 2b), \text{ kN};$$

където h_C е разстоянието от масовия център до оста на колооста, m; n - брой на осите на вагона; $2b$ - разстояние между средите на осните шийки, $2b = 2m$.

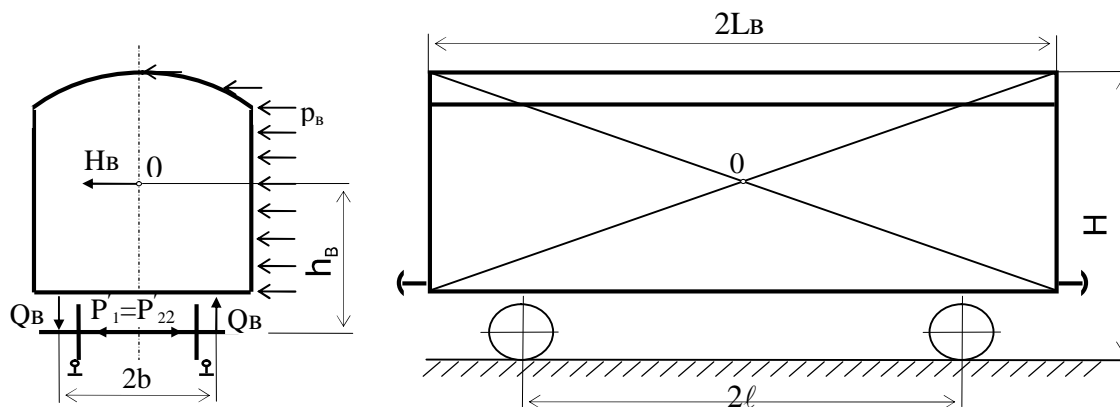
В системата остава и хоризонталната сила $P_1 = H_C / n$, действаща по оста на колооста, предизвикваща допирание на ребрда на външното колело към релсата.

Вертикално натоварване на осните шийки, предизвикано от ветровата сила

фиг. 2.1 Привеждане центробежната сила като вертикално натоварване на шийките

При изчисление на вагонна колоос се приема, че наред с центробежната сила, действа и ветрова сила H_B , която се

определя от налягането на вятра при съответните климатични условия и изчислената страничната площ на вагона. Ветровата сила се представя като съсредоточена сила с приложна точка в геометричния център на вертикалната надлъжна проекция на вагона - фиг. 2.2.



фиг.2.2 Привеждане на ветровата сила като вертикално натоварване на осните шийки

Упражнение № 2 „Изчисление на вагонна колоос“

По аналогия с горното доказателство: $Q_B = H_B \cdot h_B / (n \cdot 2b)$, kN;

където h_B е разстоянието от геометричния център на вертикалната надлъжна проекция на вагона до оста на колооста, m.

В системата остава и още една хоризонтална сила H_B / n , действаща по оста на колооста и способстваща за допирането на реборда на външното колело към релсата.

Действието на центробежната и ветрова сили може да се обедини съгласно формулите:

$Q_{CB} = (H_C \cdot h_C + H_B \cdot h_B) / (n \cdot 2b)$ и $H = (H_C + H_B) / n$, kN, където H е хоризонтална сила, действаща на една колоос, kN.

Както се вижда от фиг. 2.1 и 2.2, външната шийка е допълнително натоварена, а вътрешната - разтоварена със сила Q_{CB} .

Вертикално натоварване от инерционната сила

При опростени изчисления се изхожда от максималната инерционна сила при екстрено задържане, определена по следната формула: $P_I = m \cdot a$, kN, където a е ускорението на вагона при екстремно задържане, което се определя съгласно израза $a = (0,2 \div 0,3) \cdot g$, m/s^2 ; m - масата на вагона, kg; g - земно ускорение, $g = 9,81 m/s^2$.

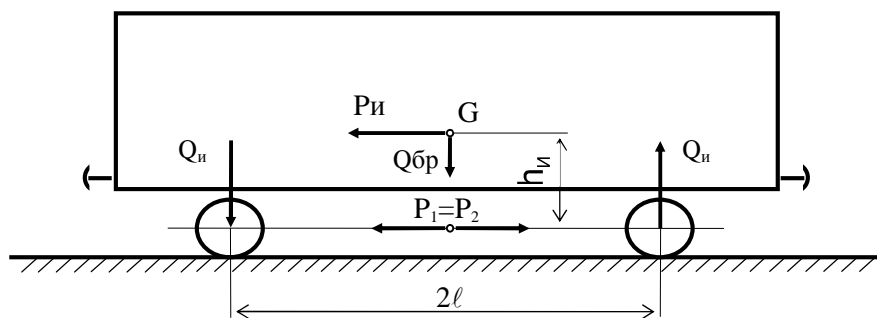
Инерционната сила на вагона се определя по следната зависимост:

$$P_I = (0,2 \div 0,3) \cdot Q_{БР}, \text{ kN},$$

където $Q_{БР}$ е брутното тегло на вагона, равно на сумата от тарата T и товарносимостта Q на вагона ($Q_{БР} = T + Q$).

По аналогия предната ос на вагона ще бъде допълнително натоварена със силата Q_I , а задната - разтоварена със същата сила съгласно фиг. 2.3. Силата Q_I се определя по следната формула: $Q_I = P_I \cdot h_I / 2\ell$, kN;

където h_I е разстоянието от масовия център на вагона до оста на колоосите, m; 2ℓ - база на вагона, m.



фиг. 2.3 Натоварване от инерционната сила

От доказателството следва, че ще съществува и една надлъжна хоризонтална сила P_I , която ще действа по посока на инерционната сила и ще се поема от буксовите плъзгалки на двете колооси по $\frac{P_I}{4}$ (2 оси, 2 шийки).

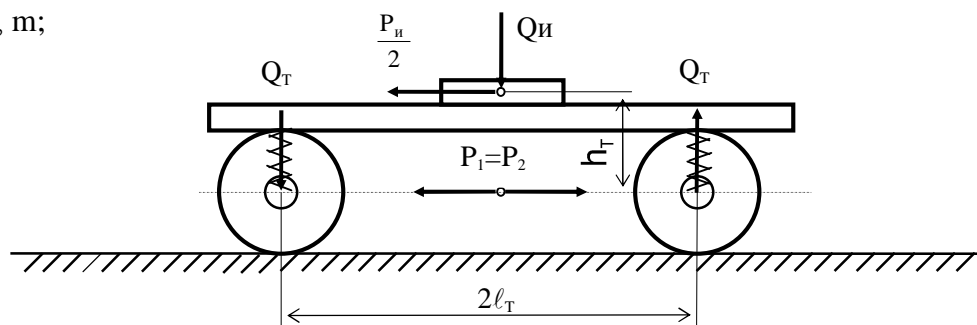
При талигов вагон разсъжденията са аналогични.

Върху централния лагер на предната талига ще действа допълнително вертикалната сила Q_I , а задната талига ще се разтоварва. Силата Q_I върху централния лагер може да се определи по предната формула, като в нея разстоянието h_I се вземе до централния лагер. Върху шийките на натоварената талига ще действа вертикално натоварване $Q_I/4$. Освен него от хоризонталната сила $P_I/2$, предната колоос ще се натовари допълнително със силата Q_T .

Силата Q_T се определя от равенството на моментите (фиг. 2.4): $Q_T = (P_I/2) \cdot h_T / 2\ell_T$, kN,

Упражнение № 2 „Изчисление на вагонна колоос“

където h_T е разстоянието от средата на централния лагер до средата на осите, m ; $2l_T$ - база на талигата, m ;



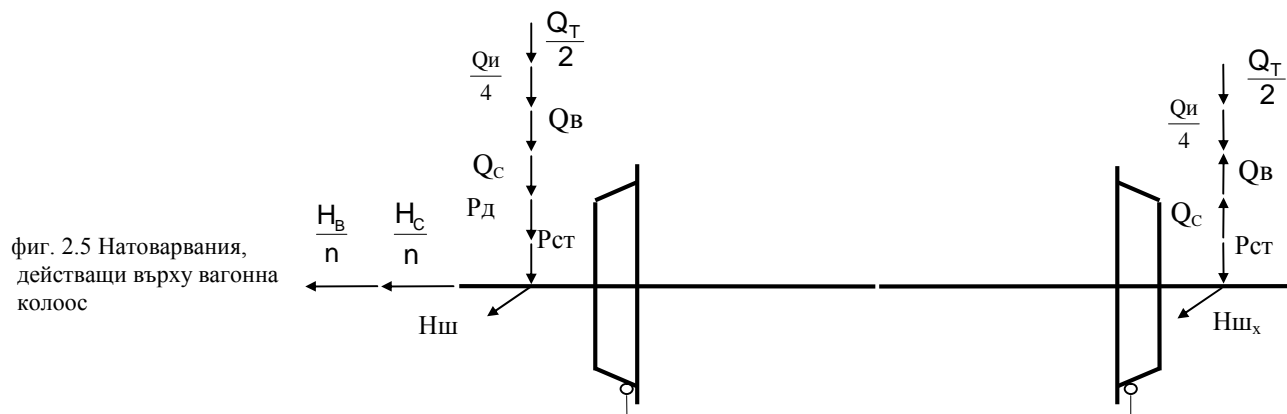
фиг. 2.4 Привеждане на силите, действащи върху талигата

При изправни спирачки на двете талиги, върху осите на талигата действат и хоризонталните сили $P_{И}/2$ на една ос в посока на движението.

На една шийка действа хоризонтална сила $H_{Ш_x} = P_{И} / 8$. Инерционната сила $P_{И}$ се разделя на 8, защото се отчитат броя на осите и шийките на една ос.

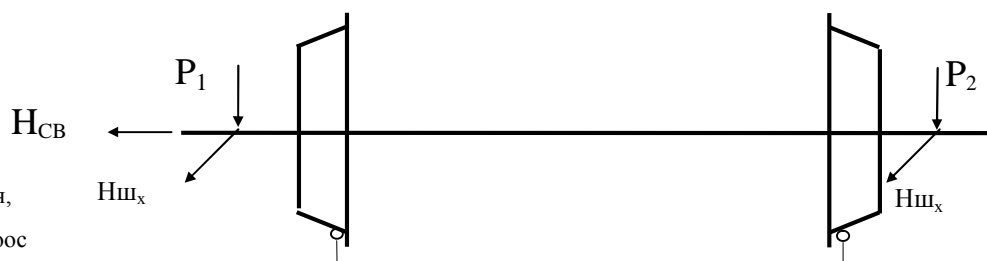
При приближена методика на изчисление, други възможни сили, които действат върху колооста, се пренебрегват.

На фиг. 2.5 са изобразени изведените по-горе вертикални и хоризонтални - напречни и надлъжни сили, действащи върху по-натоварената колоос (за първата колоос на талигов вагон).



фиг. 2.5 Натоварвания, действащи върху вагонна колоос

При събиране на силите се получава натоварване на колооста, показано на фиг. 2.6:



фиг. 2.6 Сумарни натоварвания, действащи върху вагонна колоос

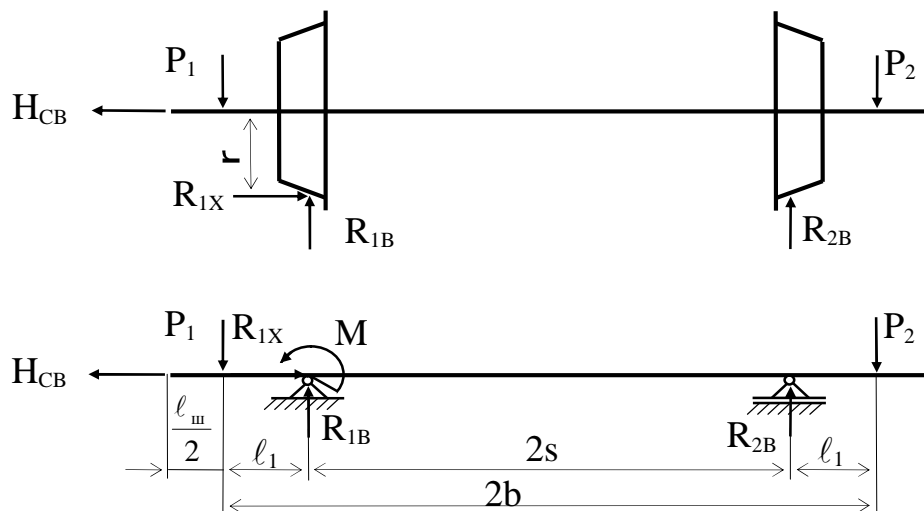
$$\text{където } P_1 = P_{СТш} + P_{Дш} + Q_c + Q_B + \frac{Q_{И}}{4} + \frac{Q_T}{2} ; \quad P_2 = P_{СТш} - Q_c - Q_B + \frac{Q_{И}}{4} + \frac{Q_T}{2} ;$$

$$H_{СВ} = \frac{H_C + H_B}{n} ; \quad H_{Ш_x} = \frac{P_{И}}{8} .$$

2.2 Приближен метод за якостно изчисление на вагонна колоос

От полученото силово натоварване следва, че вагонната колоос може да се разглежда като греди на две опори, натоварена на огъване под действие на вертикални и хоризонтални сили - сложна съпротива.

Решаване на колооста във вертикална равнина



фиг. 2.7 Схема на вагонна колоос с натоварвания, действащи във вертикална равнина

Определяне на опорните реакции:

$$R_{1X} = H_{CB}, \quad M = H_{CB} \cdot r,$$

където r е радиус на колелото по кръга на търкаляне, $r = 0,46$ m.

Реакциите R_{1B} и R_{2B} се определят от условията за равновесие и са равни на:

$$R_{1B} = \frac{P_1(\ell_1 + 2s) + H_{CB} \cdot r - P_2 \cdot \ell_1}{2s},$$

$$R_{2B} = \frac{P_2(\ell_1 + 2s) - H_{CB} \cdot r - P_1 \cdot \ell_1}{2s}.$$

Опасни сечения са:

I - в края на задния ролков лагер, на разстояние ℓ_2 мерено от силата P_1 ;

II - по вътрешния преход на шийката, на разстояние ℓ_3 от силата P_1 до сечението, намиращо се на 1/3 от началото на прехода;

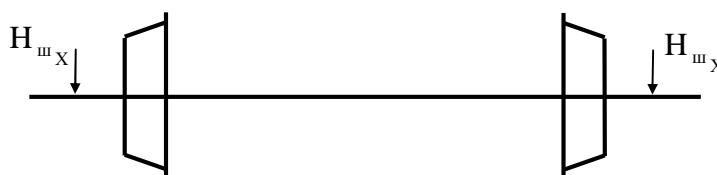
III - сечението на оста, съответстващо на кръга на търкаляне на разстояние ℓ_1 , мерено от силата P_1 ;

IV - в средата на оста на колооста - на разстояние $b = \ell_1 + s$ от силата P_1 .

Огъващите моменти в тези сечения са съответно:

$$M_{I\text{ог}} = P_1 \cdot \ell_2; \quad M_{II\text{ог}} = P_1 \cdot \ell_3; \quad M_{III\text{ог}} = P_1 \cdot \ell_1 \cdot M; \quad M_{IV\text{ог}} = P_1 \cdot b \cdot M - R_{1B} \cdot s.$$

Решаване на колооста във хоризонтална равнина



фиг. 2.8 Схема на вагонна колоос с натоварвания, действащи в хоризонтална равнина

Упражнение № 2 „Изчисление на вагонна колоос“

В хоризонтална равнина колооста се разглежда като греда на две опори, натоварена симетрично в средата на шийките със силите $H_{ш_x}$. Подложена е на огъване.

Определят се моментите в същите опасни сечения:

$$M_{Ix} = H_{ш_x} \cdot l_2; M_{IIx} = H_{ш_x} \cdot l_3; M_{IIIx} = H_{ш_x} \cdot l_1; M_{IVx} = H_{ш_x} \cdot l_1.$$

Определяне на общия огъващ момент

Резултантният огъващ момент е геометричната сума от моментите във вертикалната и хоризонтална равнина.

$$M_{Ix} = \sqrt{(P_1 \cdot l_2)^2 + (H_{ш_x} \cdot l_2)^2}; M_{IIx} = \sqrt{(P_1 \cdot l_3)^2 + (H_{ш_x} \cdot l_3)^2}; M_{IIIx} = \sqrt{(P_1 \cdot l_1 + M)^2 + (H_{ш_x} \cdot l_1)^2};$$
$$M_{IVx} = \sqrt{(P_1 \cdot b + M - R_{IB} \cdot s)^2 + (H_{ш_x} \cdot l_1)^2}.$$

Оценка на якостта на оста

Напреженията в разглежданите сечения са:

$$\sigma_{Iш} = \frac{M_I}{W_{ш}}, \text{ МПа}; \sigma_{IIIог} = \frac{M_{III}}{W_{ог}}, \text{ МПа}; \sigma_{IIш} = \frac{M_{II}}{W_{ш'}}, \text{ МПа}; \sigma_{IVср} = \frac{M_{IV}}{W_{ср}}, \text{ МПа},$$

където $W_{ш}$, $W_{ш'}$, $W_{ог}$ и $W_{ср}$ са съпротивителните моменти в съответни-те сечения - шийка, подглавинна част и средна част на оста.

$$W_i = \frac{\pi \cdot d_i^3}{32}, \text{ м}^3.$$

Получените напрежения не трябва да превишават допустимите напрежения:

$$\sigma_{ш} \leq [\sigma]_{ш}, \text{ МПа}; \sigma_{ог} \leq [\sigma]_{ог}, \text{ МПа}; \sigma_{ср} \leq [\sigma]_{ср}, \text{ МПа}.$$

При избор на допустимо напрежение е необходимо да се има предвид, че оста при въртенето си получава знакопроменящи се напрежения, т.е. подложена е на умора на материала. С достатъчна точност може да се оцени здравината на колооста като се сравняват получените напрежения с различни, утвърдени за различните сечения допустими напрежения. Утвърдените стойности на допустимите напрежения на огъване $[\sigma]_{ш}$, $[\sigma]_{ог}$ и $[\sigma]_{ср}$, валидни само за изложения метод на изчисление, са следните:

- за шийките: $[\sigma]_{ш,т} = 140 \text{ МПа}$ за товарни и $[\sigma]_{ш,п} = 120 \text{ МПа}$ за пътнически вагони.
- за подглавинната част: $[\sigma]_{ог,т} = 165 \text{ МПа}$ за товарни и $[\sigma]_{ог,п} = 140 \text{ МПа}$ за път. вагони.
- за средната част: $[\sigma]_{ср,т} = 155 \text{ МПа}$ за товарни и $[\sigma]_{ср,п} = 130 \text{ МПа}$ за пътнически вагони.

Този метод на изчисление на вагонните колооси е в известен смисъл условен, но с достатъчна точност и може да се използва за приблизителни изчисления.

Литература

- [1] Ангелов В. Ръководство за курсово и дипломно проектиране на вагони. С., ВВТУ “Т. Каблешков”, 1993
- [2] Караджов Т. Димитров Ж. Вагони, Техника, С., 1988
- [3] Правилник за техническа експлоатация на вагоните
- [4] Стоилов В. Ръководство за курсово и дипломно проектиране на дисциплината вагони. С., Печатна база при ТУ, 1986