

УПРАЖНЕНИЕ

№ 6

“Изчисление на основни
элементи от коша на вагон”

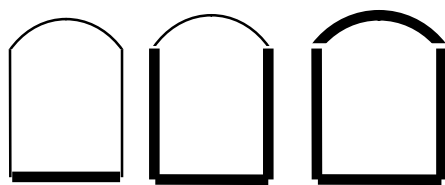
6.1. Класификация, елементи и основни принципи относно носещата способност на коша

Кош е прието да се нарича тази част от вагона, която се опира на ходовите части и е предназначена за разполагане, укрепване и съхранение на товари.

Основни елементи на коша са: рама, странични стени, челни стени и покрив.

От якостна гледна точка кошът включва: - основна носеща конструкция; - спомагателни носещи елементи и - не носещи елементи, изпълняващи други специални функции.

Основна носеща конструкция на коша се нарича съвкупността от елементи, които обезпечават необходимата якост и коравина на коша при всички експлоатационни натоварвания. Носещите конструкции, използвани за кошове на вагоните се разделят на три основни типа [1]:



а) б) в)
фиг. 6.1 Видове носещи конструкции на коша

В схема а на фиг. 6.1 главен носещ елемент от коша е рамата, която трябва якостно да издържа на всички вертикални и хоризонтални натоварвания.

В схема б носещи елементи са рамата и страничните стени.

В схема в рамата, страничните стени и покрив съставляват единна носеща система.

Всеки тип кош е съобразен с особеностите за предназначението на вагона, архитектурния замисъл или

други съображения.

Според принципиалната структура, която определя разчетната схема, носещите конструкции на кошовете се подразделят на:

- прътова система - представлява система от съединени по-между си пръти. Те могат да се разглеждат като ферми, рамни системи или комбинирани системи;

- листова система - при нея носещите елементи са металните листове на обшивката и свързаните с нея пръти;

- смесени системи - при тях едни части от конструкцията имат листова структура, а други прътова. Смесените конструкции имат най-голямо разпространение. В едни от тях страничните стени и покрива представляват открита П-образна листова конструкция, свързана с рамата, която представлява прътова конструкция: при други - страничните стени имат листова конструкция; рамата - прътова; покрив - няма.

Основен носещ елемент в конструкцията на коша е рамата.

Тя поема:

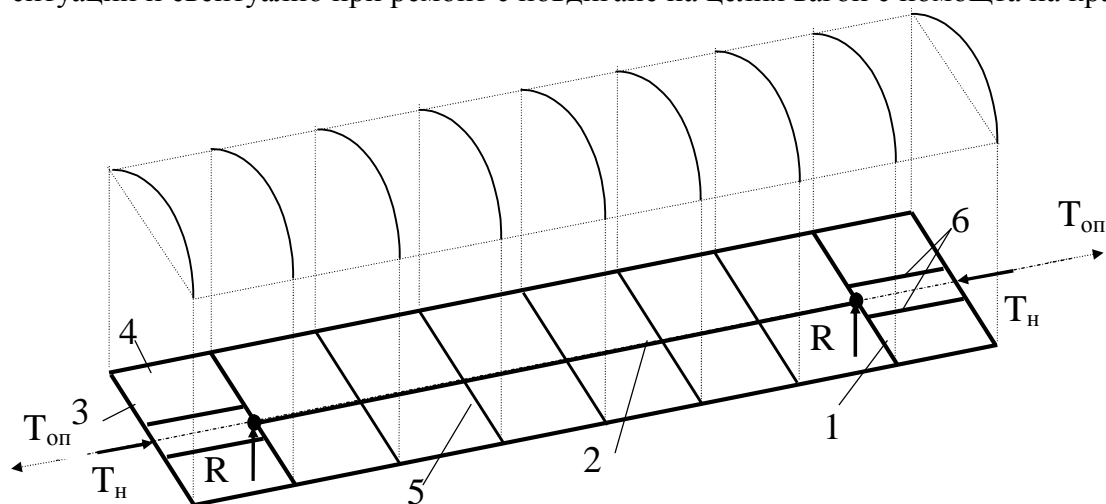
- надлъжни усилия на опън или на натиск от теглично-отбивачните съоръжения;

- вертикални усилия - изцяло или по-голяма част от полезния товар.

Схема на кош с основни носещи елементи е показана на фиг. 6.2.

Основни носещи елементи на рамата са: централно-болтовите греди 1, гръбначната греда 2, челните греди 3, страничните надлъжни греди 4, междинни напречни греди 5. Гредите са натоварени главно на огъване, като огъващите моменти са максимални в средата. За намаляване на масата най-често централно-болтовите и страничните надлъжни греди се правят с еднаква якост. Освен упоменатите напречни и надлъжни греди в рамите се използват и допълнителни напречни и надлъжни греди, върху които се опира подовата настилка. Конзолната част на рамата обхваща частта от централно-болтовите греди към двата края на вагона. Греди 6 служат за укрепване на автосцепка (или за бъдещ монтаж) и възприемат непосредствено надлъжните усилия, като заедно с челните, диагонални и централно-болтова греди образуват единна система. Отгоре се покрива с листова обшивка, която даже при малка дебелина играе съществена роля в предаването и разпределението на надлъжните съсредоточени сили. В средата на централно-болтовите греди се монтира горната черупка на централния лагер (долната черупка се монтира на централната напречна греда от рамата на талигата). Тя служи за централна опора, чрез която, в по-голяма част от вагоните, кошът се опира върху талигите. Към

двата края на централно-болтовите греди се монтират странични плъзгалки или опори, които според конструкцията им постоянно или при определени обстоятелства поемат част от вертикалното натоварване и при триенето помежду си създават съпротивителен момент срещу хоризонталното завъртане на талигата спрямо коша. През центъра на двете черупки на централния лагер преминава централен болт, свързващ коша с талигите. Около геометричната му ос се извършва завъртането на талигите спрямо коша, а при опъново натоварване той предотвратява разединяването на коша от талигата във вертикална посока при аварийни ситуации и евентуално при ремонт с повдигане на целия вагон с помощта на кран.



фиг. 6.2 Схема на рама в системата вагонен кош

1 – централна напречна (централно-болтова) греда; 2 - гръбначна греда; 3 - челна греда; 4 - странична надлъжна греда; 5 - междинна напречна греда; 6 - греди за монтаж на автосцепка.

При съвременните покрити и открити товарни вагони рамата е свързана с носещите стени на коша в единна носеща система. Вертикалното натоварване се поема главно от страничните стени и греди, а гръбначната греда поема вертикални, но предимно надлъжни усилия.

Използва се и вариант без гръбначна греда, в който случай конзолната част е усилена, а обшивката се уякчава чрез оформянето на гофри. Такова изпълнение е характерно за съвременните пътнически вагони. Свързването на отделните елементи на носещата конструкция на коша при съвременните вагони се осъществява чрез електрозаварка. Спомагателни носещи елементи в конструкцията на коша са тези, които поемат непосредствено някои натоварвания като полезен товар, инерционни сили, разпъващо действие на насипен товар и други и ги предават на основната носеща конструкция. Спомагателни носещи елементи са например дървеният под и дъските на обшивката на страничните и надлъжни стени при покрит товарен вагон с основна носеща конструкция от прътов тип. При покритите товарни вагони такива елементи са капациите на люковете и страничните врати, при платформените вагони - подвижните ниски странични стени и климиите. Обикновено спомагателните носещи елементи се свързват с основната носеща конструкция чрез шарнири, винтове, болтове и по изключение с заварка. Не носещи елементи са тези, които са необходими за създаване на някои условия при съхраняване на товара, за осигуряване на нормална работа на агрегати в коша и др. Такива елементи са топлоизолацията, врати, люкове и други подобни, които не участват в поемане на натоварванията.

В съвременните вагони за носещата конструкция на коша се използват предимно нисколегирани стомани (09Г2Б, 10Г2САФ и др.) и други стомани с повишена якост и антикорозионни качества. Изследва се приложението на пластмаси и особено на стъклопласти.

6.2. Основни положения при изчисление на вагонен кош

Якостното изчисление на коша се извършва със съвременните методи на строителната механика и на съпротивление на материалите. Кошът представлява сложна, много пъти статически неопределима система с пространствено натоварване, поради което предимно се извършват проверочни пресмятания.

За целта предварително се определят размерите на носещите сечения, техните геометрични характеристики (лица, съпротивителни, инерционни моменти), предварително се пренебрегват някои съпротиви и по опростени схеми се намират действащите напрежения, които се сравняват с допустимите. Колкото избраните схеми по-пълно отразяват особеностите на разглежданата конструкция и начините за натоварването ѝ, толкова задачата се усложнява и решението ѝ изисква прилагане на ЕИМ с многовариантни решения.

Оценката на якостта и при опростените и сложни задачи се извършва по следните критерии:

- допустими напрежения - максималните напрежения, получени при най-неблагоприятно съчетание на силите, се сравняват с допустимите. Умората на материала се отчита чрез занижени стойности на допустимите напрежения;
- допустими деформации;
- устойчивост;
- вибрации;
- вибрационна устойчивост;
- гранични натоварвания;
- други опитни и нормативни изисквания.

Вагонните кошове възприемат вертикални, странични и надлъжни натоварвания. Страничните натоварвания, получени от действието на центробежните сили и налягането на вятъра, при приближени изчисления могат да се отчетат с увеличение на напреженията, възникващи от вертикалното натоварване, с 10% при товарните и 12,5% при пътническите и хладилни вагони. Надлъжните сили, предавани чрез автосцепката или централните лагери на вагона, главно се възприемат от рамата. При якостни проверки на коша за основно изчисление може да се приеме изчислението по вертикално натоварване - статично и динамично.

В зависимост от поемане на вертикалното натоварване, съгласно описаните изчислителни схеми на вагонните кошове, може да се направи следната класификация:

- вагонни кошове със странични стени прътова конструкция и не носеща обшивка. Приближено страниците се разглеждат като ферми. Горният и долен пояс отделно се разглеждат като греди на две опори, натоварени на огъване. Такива конструкции имат покритите и открити товарни вагони с дървена или друга не носеща обшивка;

- затворена носеща пластина, работеща заедно с рамата като единна греда. При изчисление на тези конструкции се предполага недеформируемост на контурите на напречните сечения. Външните натоварвания се считат, че са приложени в равнина минаваща през масовите центри на тези сечения. Напреженията при тези конструкции се определят по основните формули от “Съпротивление на материалите”. Към тези конструкции могат да се отнесат резервоарите на цистерните и кошовете на целометалните пътнически и товарни вагони;

- незатворена П-образна носеща пластина, опираща се на рамата на вагона. Тези кошове се разглеждат като греда с П-образно сечение, натоварено допълнително с усилия, предавани се от напречните греди на рамата на вагона. Такава конструкция имат кошовете на целометалните покрити вагони с дървен под;

- с отделни целометални страници, укрепени на рамата на вагона. Такива конструкции имат кошовете на открити товарни вагони с метална обшивка. Всяка страница може да се изчислява като отделна греда, натоварена допълнително със сили от напречните греди на рамата.

Плоската тънкостенна метална обшивка има свои особености, които е необходимо да се отчетат при изчисление на коша:

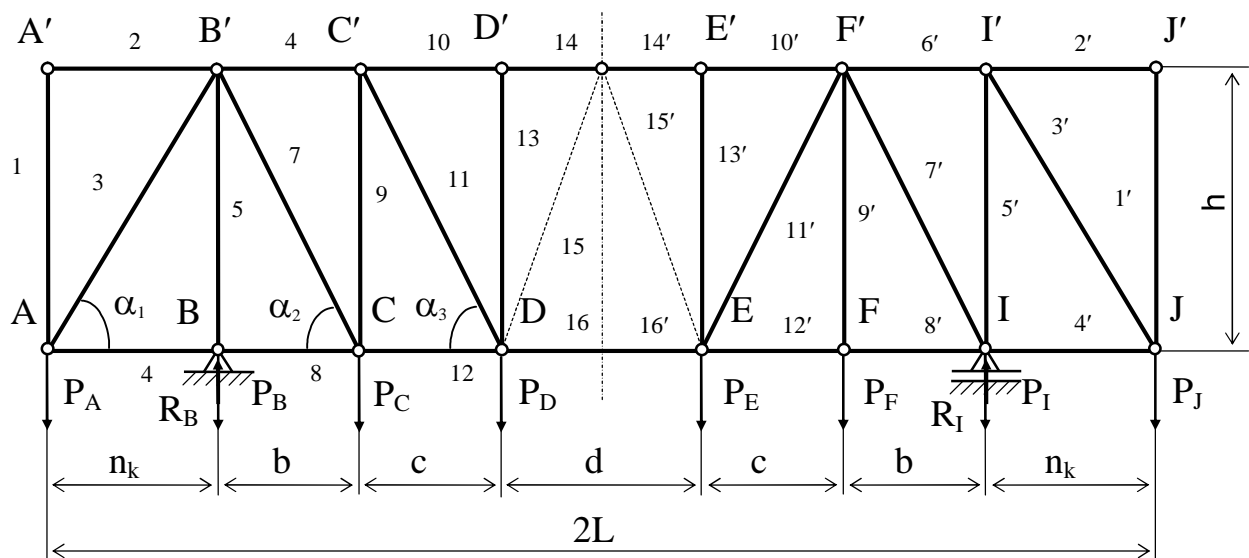
- неравномерно разпределение на нормалните напрежения по ширина на панела, подложен на опън или натиск. Тази неравномерност нараства интензивно при различните местни деформации;

- тънкостенната обшивка бързо губи носеща способност и устойчивост под действие на тангенциални напрежения. Изхождайки от тези особености, обшивката се укрепва с

допълнителни носещи надлъжни елементи - стрингери, по направление на действащите нормални напрежения. Често се използват гофри и различни по вид шамповки, изпълняващи същата роля.

6.3 Изчисление на елементи от кош на товарен вагон със страница прътова конструкция

Изчислителната схема на страницата се разглежда като образувана от осевите линии на надлъжните пояси, вертикалните колони и диагоналите. Предполага се, че във всеки възел посочените линии се пресичат в една точка, а прътите в нея са съединени шарнирно.



фиг. 6.3 Изчислителна схема на вагонна страница прътова конструкция

Натоварвания:

- част от полезния товар Q и теглото на пода $G_{\text{под}}$ - тази част може да се определи с използване тримоментното уравнение на Клапейрон и е $3/16$; - теглото на страницата $G_{\text{стр}}$; - половината от теглото на покрива $G_{\text{п}}$; - допълнително вертикално натоварване на страницата от действието на центробежната H_c и ветрова сили H_B :

$$Q_{\text{св}} = \frac{H_c \cdot h_c + H_B \cdot h_B}{2B} \cdot q = \frac{(1 + k_d) \left[\frac{3}{16} \cdot (Q + G_{\text{под}}) + G_{\text{стр}} + \frac{G_{\text{п}}}{2} \right] + Q_{\text{св}}}{2L}$$

Вземайки предвид и динамичната съставка, горните натоварвания действат върху страницата равномерно разпределени:

$$q = \frac{(1 + k_d) \left[\frac{3}{16} \cdot (Q + G_{\text{под}}) + G_{\text{стр}} + \frac{G_{\text{п}}}{2} \right] + Q_{\text{св}}}{2L}, \text{ kN/m};$$

- съсредоточени сили P_0 , действащи в края на фермата, равни на половината тегло на челните стени и греди;

- съсредоточени сили X_i от действието на напречните греди, приложени в местата на съединение на тези греди със страницата.

Всички натоварвания е необходимо да се приведат като съсредоточени сили във възлите на долния пояс.

Натоварванията в съответните възли са:

Упражнение № 6 „Изчисление на основни елементи от коша на вагон”

$$P_A = (1 + k_d)P_0 + \frac{q \cdot n_k}{2} + X_1; \quad P_B = P_I = \frac{q \cdot (n_k + b)}{2} + X_2; \quad P_D = P_E = \frac{q \cdot (c + d)}{2} + X_3$$

$$P_C = P_F = \frac{q \cdot (b + c)}{2} \quad (\text{няма връзка с напречна греда от рамата на вагона});$$

Реакциите на опорите на фермата в точки В и I са: $R_B = R_I = P_A + P_B + P_C + P_D$.

При наличие на разчетна схема на фермата, всички външни натоварвания като съсредоточени сили, приложени във възлите, може да се определят усилията, респ. напреженията в отделните пръти, използвайки: - аналитичен метод; - графичен (план Крeмона) или - чрез Ритерово сечение [2].

Усилията, действащи в отделните пръти са дадени в таблица 6.1.

таблица 6.1

Срязани пръти	Условия на равновесия за лявата част на фермата	Усилия в прътите	Напрежения в прътите
1	2	3	4
1-2	$\sum Y_i = 0; \quad -S_1 = 0;$ $\sum X_i = 0; \quad S_2 = 0.$	$S_1 = S_2 = 0$	$\sigma_1 = \sigma_2 = 0$
1-3-4	$\sum Y_i = 0; \quad S_3 \cdot \sin \alpha_1 - P_A = 0;$ $\sum X_i = 0; \quad S_4 + S_3 \cdot \cos \alpha_1 = 0.$	$S_3 = P_A / \sin \alpha_1$ $S_4 = -S_3 \cdot \cos \alpha_1$ $S_4 = -P_A \cdot \cotg \alpha_1$	$\sigma_3 = \frac{S_3}{F_3} \quad \sigma_4 = -\frac{S_4}{F_4}$
4-5-8	$\sum Y_i = 0; \quad S_5 - P_B + R_B = 0;$ $\sum X_i = 0; \quad -S_4 + S_8 = 0.$	$S_5 = P_B - R_B$ $S_8 = -P_A \cdot \cotg \alpha_1$	$\sigma_5 = \frac{S_5}{F_5} \quad \sigma_8 = -\frac{S_8}{F_8}$
2-3-5-7-6	$\sum Y_i = 0; \quad S_3 \cdot \sin \alpha_1 + S_5 +$ $S_7 \cdot \sin \alpha_2 = 0$ $\sum X_i = 0;$ $-S_3 \cdot \cos \alpha_1 + S_7 \cdot \cos \alpha_2 + S_6 = 0$	$S_7 = -\frac{S_3 \cdot \cos \alpha_1 - S_5}{\sin \alpha_2}$ $S_6 = S_3 \cdot \cos \alpha_1 - S_7 \cdot \cos \alpha_2$	$\sigma_7 = -\frac{S_7}{F_7} \quad \sigma_6 = \frac{S_6}{F_6}$
8-7-12-9	$\sum Y_i = 0; \quad S_7 \cdot \cos \alpha_2 + S_9 - P_C = 0;$ $\sum X_i = 0;$ $-S_8 - S_7 \cdot \cos \alpha_2 + S_{12} = 0.$	$S_9 = P_C - S_7 \cdot \cos \alpha_2$ $S_{12} = S_8 + S_7 \cdot \cos \alpha_2$	$\sigma_9 = \frac{S_9}{F_9} \quad \sigma_{12} = \frac{S_{12}}{F_{12}}$
6-9-11-10	$\sum Y_i = 0; \quad -S_9 - S_{11} \cdot \sin \alpha_3 = 0;$ $\sum X_i = 0;$ $-S_6 + S_{10} + S_{11} \cdot \cos \alpha_3 = 0.$	$S_{11} = -\frac{S_9}{\sin \alpha_3}$ $S_{10} = S_6 - S_{11} \cdot \cos \alpha_3$	$\sigma_{11} = -\frac{S_{11}}{F_{11}} \quad \sigma_{10} = \frac{S_{10}}{F_{10}}$
11-12-16-13	$\sum Y_i = 0; \quad S_{11} + S_{13} - P_D = 0;$ $\sum X_i = 0;$ $-S_{12} - S_{11} \cdot \cos \alpha_3 + S_{16} = 0.$	$S_{11} = P_D - S_{13}$ $S_{16} = S_{12} + S_{11} \cdot \cos \alpha_3$	$\sigma_{11} = \frac{S_{11}}{F_{11}} \quad \sigma_{16} = \frac{S_{16}}{F_{16}}$
10-13-14	$\sum Y_i = 0; \quad S_3 = 0;$ $\sum X_i = 0; \quad S_{10} - S_{14} = 0.$	$S_{14} = S_{10}$	$\sigma_{14} = \frac{S_{14}}{F_{14}}$

Напреженията в опънатите пръти се определят по формулата:

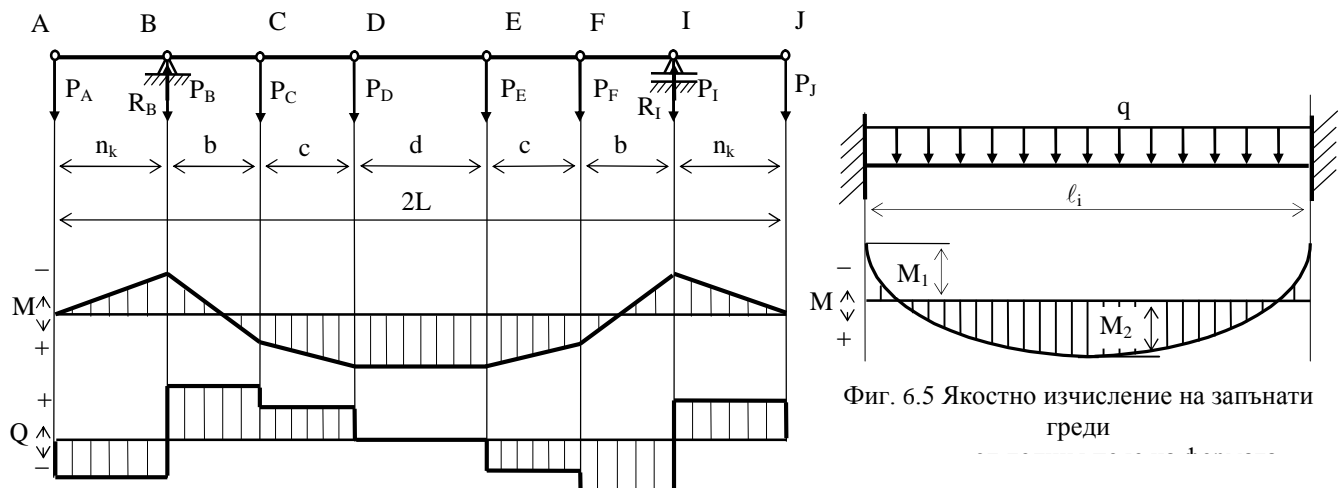
$$\sigma_{оп_i} = S_i / F_i,$$

Където F_i е площта на напречното сечение на i -тия прът.

Натиснатите пръти трябва да се проверят и на изкълчване, най-често по ϕ -метода, като се използва формулата: $\sigma_i = S_i / (F_i \cdot \phi)$, където ϕ е коефициент на намаление на допустимото напрежение.

Долният пояс на фермата, който едновременно е и странична надлъжна греда от рамата, може да се изчисли като греда на две опори, подложена на огъване от вертикални усилия, приложени в точките А, В, С, Е, F, I, G.

Най-големи усилия в прътите на горния и долния пояс на страницата възникват в средните сечения, там където действа най-голям огъващ момент според фиг. 9.4, а в стойките и диагоналите - в зоните, които са най-близо до централните напречните греди, където са максималните срязващи усилия Q. Усилията в прътите от фермата се разпределят доста неравномерно, при което някои от тях - S₁, S₂, S₁₃, S₁₅, са равни на 0. От направеното изчисление не трябва да се прави извод, че могат да се ликвидират тези пръти или значително да се отслабят, тъй като те могат да се окажат натоварени при други условия на работа на коша, възникващи при неговата експлоатация. Изхождайки от тези съждения, също и по технологични съображения, сеченията на горния и долния пояс се изпълняват еднакви по цялата дължина на вагона, без да се отчитат възможни местни усилвания, там, където се прилагат допълнителни усилия. Сеченията на всички диагонали като правило също се изпълняват еднакви. Само напречните сечения на колоните се различават помежду си, вследствие особеностите на тяхното предназначение и конструктивно изпълнение - ъглови, вратни, промеждутъчни колони.



Фиг. 6.4 Якостно решаване на страничната надлъжна греда от рамата на вагона

Напреженията в i-тия прът на фермата са: $\sigma_i = S_i / F_i$

Тази величина трябва да се събере с напрежението на огъване от местните натоварвания. При приближените изчисления, натоварването се представя като равномерно разпределен товар с интензивност q, огъващ долния пояс.

При изчисление на огъване от разпределения товар q, долният пояс се разглежда като съставен от греди, твърдо свързани с краищата си във възлите на фермата (фиг. 6.5). Ползвайки справочници по “Съпротивление на материалите”, се определят запъващите моменти M₁ и моментът в средата на гредата - M₂:

$$M_1 = M_{\max} = \frac{q \cdot \ell_i^2}{12} \quad M_2 = \frac{q \cdot \ell_i^2}{24}$$

Най-големите напрежения от огъване се определят за тези нишки на сечението на разглеждания прът, опънат или натиснат, характерът на деформациите на които съвпадат с тези при изчисление на фермата. Най-големите напрежения от огъване са:

$$\sigma_{\text{ог}_i} = \frac{M_{\max_i}}{W_i} = \frac{q \cdot \ell_i^2}{12 W_i}, \text{ МПа,}$$

където l_i е дължината на i -тия прът от долния пояс, m; W_i – съпротивителен момент на сечението на i -тия прът спрямо хоризонталната централна ос за опънатите или натиснати нишки, m^3 .

Сумарните значения на еднозначните напрежения от опън (натиск) и огъване в съответствие с цитираното по-горе се увеличават с 10% за приближено отчитане на страничните натоварвания (центробежна H_c и ветрова сили H_b) и получените значения се сравняват с допустимите напрежения, които за ст3 са 165 МРа, а за стомана 09Г2Б - 200 МРа.

6.4 Опростено якостно изчисление на целометален вагонен кош

Целометалният кош от тип затворена пластина, незатворена пластина с П-образна форма и отделно стоящи странични стени в изчислителните схеми при приближени изчисления от вертикални натоварвания се разглежда като гредата на две опори, натоварена с равномерно разпределен товар с интензивност q и отделни съсредоточени сили. При затворената пластина в напречното сечение на гредата влизат и елементите от рамата, а в разпределения товар q се включва статичното и динамично натоварване от бруто теглото на коша, според формулата:

$$q = Q_{бр} \cdot (1 + k_d) / 2L .$$

Като съсредоточени сили P_i могат да се разглеждат статични и динамични натоварвания от теглото на челните стени, прегради, спирачно или хладилно оборудване и други, които натоварвания не се включват в разпределения товар q .

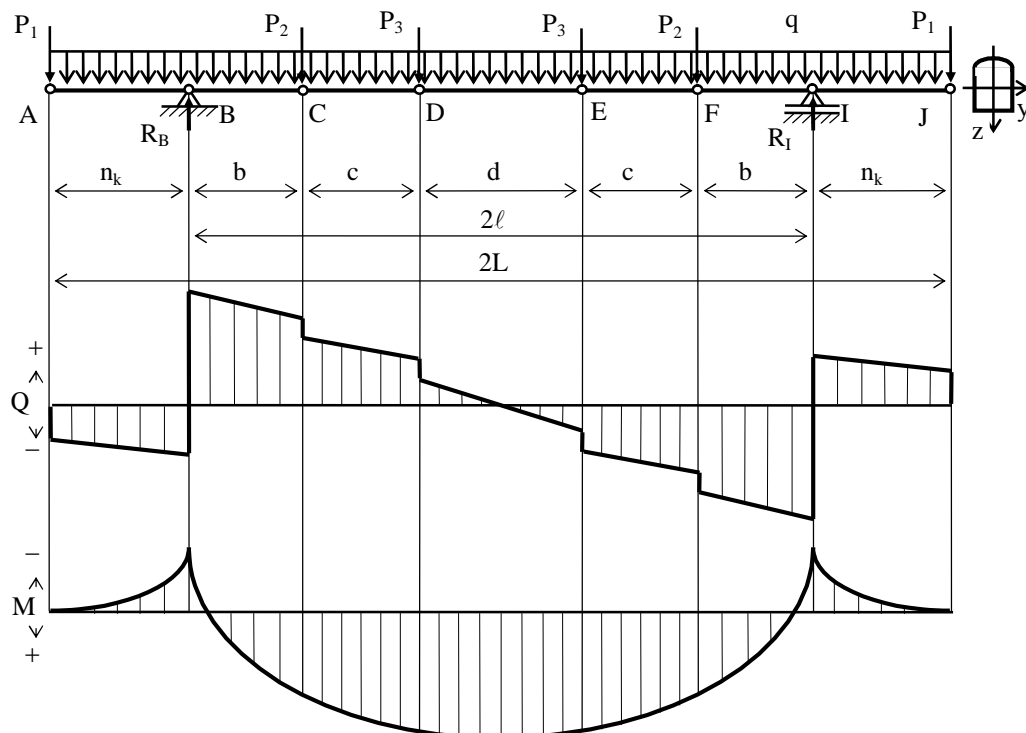
На фиг. 6.6 е представена изчислителната схема на целометален вагонен кош със съответните диаграми.

Опорните реакции са: $R = q \cdot L + P_1 + P_2 + P_3$.

В някои по-характерни сечения на коша срязващите усилия са: $Q_{ср} = 0$; $Q_B = Q_I = R - P_1 - q \cdot n_k$.

Огъващите моменти в средата на гредата и в опорите се определят по следните формули:

$$M_{ср} = R \cdot l - P_1 \cdot L - P_2 \cdot \left(c + \frac{d}{2} \right) - P_3 \cdot \frac{d}{2} - \frac{q \cdot L^2}{2} \quad M_B = M_I = P_1 \cdot n_k + \frac{q \cdot n_k^2}{2}$$



фиг. 6.6 Изчислителна схема на целометален кош с Q и M диаграми

Определянето на напреженията от напречните усилия Q_i и огъващите моменти M_i се извършва, ползвайки формулите от “Съпротивление на материалите”:

$$\sigma_i = \frac{M_i \cdot y_{ij}}{I_i}; \tau_i = \frac{Q_i \cdot S_{ij}}{b_i \cdot I_i}, \text{ МПа,}$$

където y_{ij} е разстоянието от хоризонталната ос, минаваща през масовия център на i -тото сечение до разглежданата нишка, m; I_i – инерционен момент на i -тото сечение спрямо същата ос, m^4 ; S_{ij} – статичен момент на площта на срязаната част на сечението, разположена над нивото на разглежданите нишки, относно същата ос, m^3 , $S_{ij} = \sum F_k \cdot a_k$; F_k - площ на k -тия елемент на сечението, m^2 ; a_k - разстояние от масовия център на този елемент до хоризонталната централна ос на i -тото сечение, m; b_{ij} - сумарна ширина на елементите на i -тото сечение на нивото на разглежданите нишки, m.

Получените напрежения се увеличават с 10% за товарните вагони при приближено отчитане на страничните натоварвания.

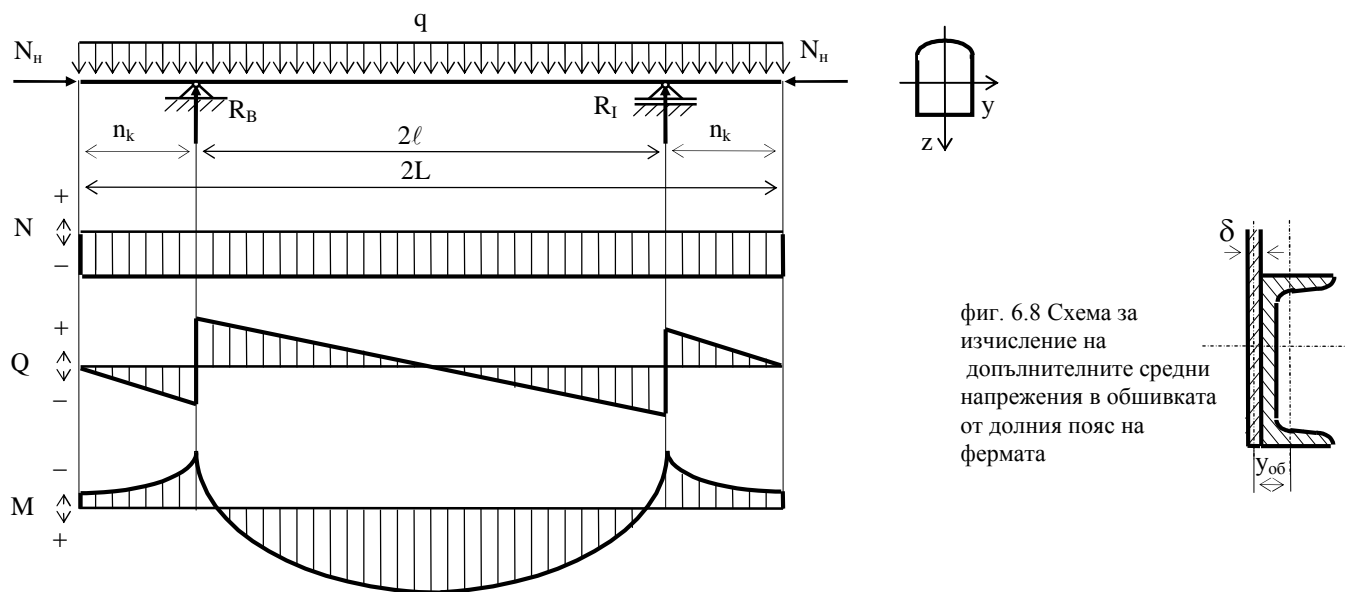
Изчислените нормални и тангенциални напрежения за определени сечения се сумират по една от якостните теории. Например, използвайки четвъртата (енергетична) якостна теория, еквивалентните напрежения се определят по формулата: $\sigma_{e_i} = \sqrt{\sigma_{\Sigma_i}^2 + 3\tau_{\Sigma_i}^2}$, МПа.

Получените еквивалентни напрежения се сравняват с допустимите за съответния материал:

$$\sigma_{\text{екв}} \leq 165 \text{ МПа за ст. 3, ст. 20;}$$

$$\sigma_{\text{екв}} \leq 200 \text{ МПа за ст. 09Г2Б.}$$

Същият тип кош, затворена черупка, разглеждан като гредата на две опори, натоварена с равномерно разпределен товар с интензивност q и по оста на гредата със сили на опън $N_{\text{оп}}$ или на натиск $N_{\text{н}}$, действащи по оста на автосцепката, е показан на фиг. 6.7.



фиг. 6.7 Схема на вагонен кош затворена черупка с N, Q и M диаграми

Ако се пренебрегнат тангенциалните напрежения, основните средни нормални напрежения в обшивката и в надлъжните пръти от коша се определят по формула:

$$\sigma_{i_x} = \frac{M_i}{I_i} \cdot z_i + \frac{N_i}{F_i}, \text{ МПа,}$$

където M_i , N_i са огъващият момент и нормалната сила в i -то сечение; z_i – разстояние от масовия център на сечението до разглежданата точка, m; I_i , F_i – инерционният момент и площта на

сечението на коша (при отчитане на обшивката и всички надлъжни укрепващи елементи) в i -то сечение, m^4 , m^2 .

Освен основни средни напрежения в обшивката на някои открити товарни вагони могат да възникнат и допълнителни средни напрежения. Появата им се дължи на огъването на укрепващите елементи (греди, пръти, гофри), към които обшивката е захваната чрез заварка съгласно фиг. 6.8. В този случай допълнителните напрежения в обшивката се определят по следната формула:

$$\sigma_{\text{доп.}i} = \frac{M_{1i}}{I_{1i}} \cdot y_{\text{об}} + \frac{N_{1i}}{F_{1i}}, \quad \text{MPa},$$

където M_{1i} , N_{1i} са огъващият момент и нормалната сила в укрепващия i -ти елемент, kNm, kN; I_{1i} , F_{1i} - инерционният момент и площта на сечението на i -тия елемент, m^4 , m^2 .

В сечението обшивката се включва с приведена ширина $b_{\text{пр}} \approx 40\delta$; δ - дебелина на обшивката, m; $y_{\text{об}}$ - разстояние от масовия център на площта на i -тия елемент до средата на сечението на обшивката, m.

Литература

- [1] Караджов Т. Димитров Ж. Вагони, Техника, С., 1988
- [2] Николский Л. Теория и расчет вагонов, М., 1975