

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

M 144
824

— НКПС —

Центр. отдел по подготовке кадров сектора
средне-технического образования

МАТЕРИАЛ

К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ В ТЕХНИКУМАХ
ВАГОННОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Расчет 4-осн. жесткого
пассажирского вагона
длиною 25 м.

(Центральное вагоно-конструк-
торское бюро ВОЗЛТ-а)

Москва°

Изд Цопкадра

1934 г.

Упол. Ткаченко В-75531, зак. 140, тир. 350. Стеклография НКПС. тел. 50-35

M 144
824

Расчет пассажирского вагона дл. 25 м. с металлическим кузовом

Технические условия на проектирование пас.
вагона дл. 25 м. с метал. кузовом:

1. Длина вагона по буферным брусам - 24880 мм.

2. Ширина вагона - 3100 мм.

3. Масса вагона (ориентировочно) - 52000 кг.

из них вес 2-х тележек 13000 кг.

4. Вагон вписывается в габарит № 0

5. Упряжь нормального типа, с расчетом на 34-11562
замену автосцепкой.

Вагон рассчитывается на:

6. Грузоподъемность - 10000 кг

7. Ветровое усилие при давлении ветра $p = 150 \text{ кг/м}^2$

8. Центробежную силу при скорости $v = 70 \text{ км/час}$.

на кривой радиусом $r = 200 \text{ м}$.

9. Буферный удар на 1 буфер - 20000 кг.

10. Тяговое усилие - 65000 кг.

11. Удар автосцепки - 8000 кг.

Напряжения при наиболее выгоднейшем сочетани-
и указанных нагрузок не должны пре-
восходить 14000 кг/см^2

Распределение нагрузок между частя- ми кузова

Вес груженого кузова $G = 49000 \text{ кг}$.

По спецификации вагона дл. 19 м. с металли-
ческим кузовом электрифицированных ж. д.
имеем:

Вес 1 м^2 крыши - 53,6 кг.

" " боков. и конц. стен - 88,5 кг.

Принимая веса соответственных частей ва-
гона дл. 25 м. равными весам тех же частей
вагона дл. 19 м,

имеет:

Вес 1ой боковой стены - $24,88 \cdot 8,341 \cdot 88,5 = 5200 \text{ кг}$.

" " концевой " - $2,16 \cdot 3,061 \cdot 88,5 = 600 \text{ кг}$.

" крыши - $3,481 \cdot 24,88 \cdot 53,6 = 4700 \text{ кг}$.

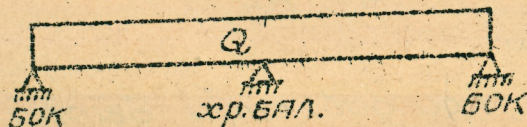
Вес автосцепки - 300 кг.

Остальной вес (внутрен. оборудован, пассажиры, рама, пол, тормозные части)

$$Q = 49000 - 2 \cdot 5200 - 2600 - 4700 - 2300 = 32100 \text{ кг.}$$

считаем равномерно распределённым по длине и ширине вагона.

Этот вес распределяем между боковой стеной вагона и хребтовой балкой, как реакции неразрезной балки на 3-х опорах.



Нагрузка на хребтовую балку равномерно распределенная

$$q = \frac{5 \cdot 32100}{8 \cdot 2488} = 8,1 \text{ кг/см}$$

Нагрузка, приходящаяся на боковину, равномерно распределенная:

$$q_2 = \frac{1}{2488} \left[\frac{3}{16} \cdot 32100 + 5200 + 0,5 \cdot 4700 \right] = 5,45 \text{ кг/см}$$

Нагрузка, приходящ. на концевую стенку:

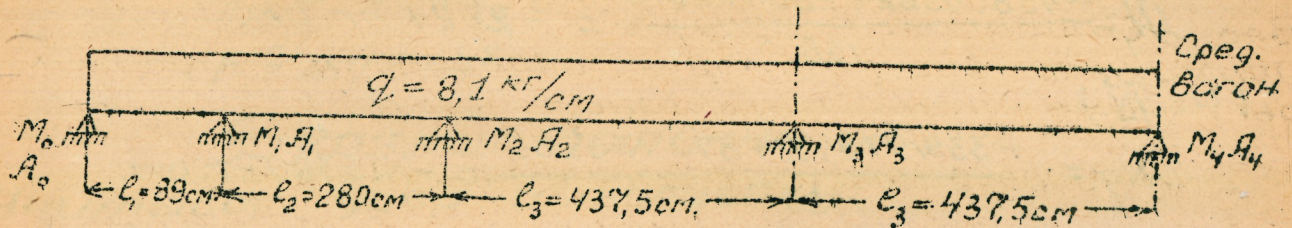
$$Q_1 = 300 + 600 = 900 \text{ кг.}$$

Расчет рамы

Хребтовая балка

Хребтовую балку считаем, как неразрезную балку, на 9ти опорах: 2х концев. стенах, 2х поперечных балках, 3х попер. балках, 2х шкворнях

Схема загрузки



$$M_0 = 0$$

Определим опорные моменты M_1, M_2, M_3, M_4
По теореме 3х моментов имеем:

$$2M_1(l_1 + l_2) + M_2l_2 = -\frac{q}{4}(l_1^3 + l_2^3)$$

$$M_1l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3l_3 = -\frac{q}{4}(l_2^3 + l_3^3)$$

$$M_2l_3 + 4M_3l_3 + M_4l_3 = -\frac{q}{2}l_3^3$$

$$2M_3l_3 + 4M_4l_3 = -\frac{q}{2}l_3^3$$

Подставляя значения известных величин, получим:

$$738M_1 + 280M_2 = -45880362 \dots \dots \dots (I)$$

$$280M_1 + 1135M_2 + 437,5M_3 = -214026773 \dots \dots \dots (II)$$

$$437,5M_2 + 1750M_3 + 437,5M_4 = -339147948 \dots \dots \dots (III)$$

$$875M_3 + 1750M_4 = -339147948 \dots \dots \dots (IV)$$

Упрощая получим:

$$1328,768M_2 + 437,5M_3 = -196619229$$

$$1750M_2 + 6125M_3 = -101443844$$

Решая эту систему, получим:

$$M_3 = -\frac{759263840}{5548,8125} = -136830 \text{ кг.см.}$$

$$M_2 = \frac{-196619229 + 280,102910}{738} = -102910 \text{ кг.см.}$$

(2/3 I)

$$M_1 = \frac{-45890362 + 280,102910}{738} = -23124 \text{ кг.см.}$$

(2/3 IV)

$$M_4 = \frac{-339147948 + 875,136830}{1750} = -125380 \text{ кг.см.}$$

Реакции опор:

$$A_0 = \frac{ql_1}{2} + \frac{M_1}{l_1} = \frac{8,1 \cdot 89}{2} - \frac{23124}{89} = 101 \text{ кг}$$

$$A_1 = \frac{q}{2}(l_1 + l_2) + \frac{M_2 - M_1}{l_2} - \frac{M_1}{l_1} = \frac{8,1 \cdot 369}{2} + \frac{-102910 - 23124}{280} + \frac{23124}{89} = 1463 \text{ кг.}$$

$$A_2 = \frac{q}{2}(l_2 + l_3) + \frac{M_3 - M_2}{l_3} - \frac{M_2 - M_1}{l_2} = \frac{8,1}{2}(280 + 437,5) + \frac{-136830 + 102910}{437,5} - \frac{-102910 + 23124}{280} = 3120 \text{ кг.}$$

$$A_3 = ql_3 + \frac{M_4 - M_3}{l_3} - \frac{M_3 - M_2}{l_3} = 8,1 \cdot 437,5 + \frac{-125380 + 136830}{437,5} - \frac{-136830 + 102910}{437,5} = 3648 \text{ кг.}$$

$$A_4 = ql_3 + 2 \frac{M_3 - M_4}{l_3} = 8,1 \cdot 437,5 + 2 \frac{-136830 + 125380}{437,5} = 3491 \text{ кг}$$

Кроме действия вертикальной нагрузки учител действие удара автосцепки на крестовую балку

$$P = 80000 \text{ кг.}$$

и тягов. усилия $T = 65000 \text{ кг.}$

Напряжение в опасном сеч. (т-т) крест. балки:

Эксцентриситет приложения ударного и тя-

гаворог цилиндра автосцепки $\delta = 5,3 \text{ см.}$

$$W_b = 1967,2 \text{ см}^3$$

$$W_H = 1276,6 \text{ см}^3 \text{ (см. приложение I)}$$

$$F = 164,6 \text{ см}^2$$

Верхние волокна

Учитывая удар автосцепки:

$$\sigma_b = \frac{M_3}{W_b} - \frac{P}{F} + \frac{P\delta}{W_b} = \frac{136930}{1967,2} - \frac{80000}{164,6} + \frac{80000 \cdot 5,3}{1967,2} = -203 \text{ кг/см}^2 \text{ / сжатие /}$$

Учитывая тягов. усилие:

$$\sigma_b = \frac{M_3}{W_b} + \frac{T}{F} - \frac{T\delta}{W_b} = 69,7 + 394 - 175 = 290 \text{ кг/см}^2 \text{ / растяж. /}$$

Нижние волокна (сжат) при учете удара автосцепки

$$\sigma_H = \frac{M_3}{W_H} + \frac{P}{F} + \frac{P\delta}{W_H} = \frac{136830}{1276,6} + \frac{80000}{164,6} + \frac{80000 \cdot 5,3}{1276,6} = 972 \text{ кг/см}^2$$

Поперечные балки

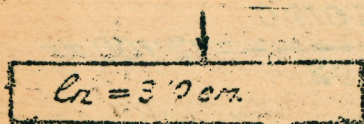
Наиболее нагруженная поперечная балка:

$$R_3 = 3648 \text{ кг}$$

$$W_H = 901 \text{ см}^3$$

$$W_b = 790,5 \text{ см}^3$$

$$J_H = 14317 \text{ см}^4 \text{ (см. прил. II)}$$



Напряжение в опасном сечении

Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_b = \frac{R_3 l_n}{4 W_b} = \frac{3648 \cdot 310}{4 \cdot 790,5} = 358 \text{ кг/см}^2$$

Нижние волокна (растяжение)

$$\sigma_H = \frac{R_3 l_n}{4 W_H} = \frac{3648 \cdot 310}{4 \cdot 901} = 315 \text{ кг/см}^2$$

Лобовая балка

$$W_H = 429 \text{ см}^3, W_B = 462 \text{ см}^3 (\text{ст. пр. III})$$

$$J = 7115 \text{ см}^4$$

$$e_n = 310 \text{ см.}$$

Напряжен. в опасн. сечен. лобов. бал.
ки

Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_B = \frac{A_1 e_n}{4 W_B} = \frac{1463 \cdot 310}{4 \cdot 462} = 246 \text{ кг/см}^2$$

Нижние волокна (растяжение)

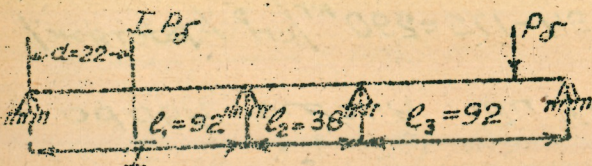
$$\sigma_n = \frac{A_1 e_n}{4 W_H} = \frac{1463 \cdot 310}{4 \cdot 429} = 264 \text{ кг/см}^2$$

Буферный брус.

$$W_4 = 878 \text{ см}^3$$

$$W_1 = 507 \text{ см}^3 (\text{ст. пр. IV})$$

Надпорный момент



$$M_1 = \frac{2 P_\delta (l_1^2 - a^2)}{l_1 (2l_1 + 3l_2)} = \frac{2 \cdot 30000 \cdot 22 (92^2 - 22^2)}{92 (2 \cdot 92 + 3 \cdot 38)} = 256140 \text{ кгсм}$$

Максимальный изгибающий момент (сечен I-I)

$$M_{\text{max}} = \frac{P_\delta (l_1 - a)}{l_1} - \frac{M_1 \cdot a}{l_1} = \frac{20000 \cdot 22 (92 - 22)}{92} - \frac{256140 \cdot 22}{92}$$

$$M_{\text{max}} = 273520 \text{ кгсм}$$

Реакция на боковину

$$B_0 = \frac{P_\delta (l_1 - a)}{l_1} - \frac{M_1}{l_1} = \frac{20000 (92 - 22)}{92} - \frac{256140}{92} = 12400 \text{ кг.}$$

Напряжение в сечении I-I

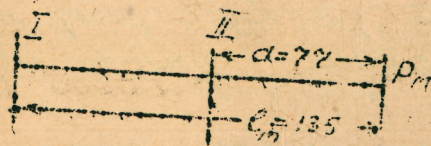
Растяжение

$$\sigma_p = \frac{M_{\text{max}}}{W_n} = \frac{273520}{878} = 310 \text{ кг/см}^2$$

Сжатие:

$$\sigma_c = \frac{M_{\text{max}}}{W_B} = \frac{273520}{507} = 537 \text{ кг/см}^2$$

Шкворневая балка



Сеч I

$$W_H = 1697 \text{ см}^3$$

$$W'_6 = 1783 \text{ см}^3$$

$$J_{ш} = 28355 \text{ см}^4$$

Сеч II

$$W_H^{\text{II}} = 1074 \text{ см}^3$$

$$W'_6^{\text{II}} = 1033 \text{ см}^3$$

$$J_{ш}^{\text{II}} = 12459 \text{ см}^4$$

/ См. прилож. \bar{V}^a и \bar{V}^b .

Усилие, действующ. на шкворневую балку:

$$P_{ш} = 0,5(9,6L + Q + A_0 + A_1 + A_2 + 0,5A_4) = 0,5(13670 + 900 + 101 + 3648 + 0,5 \cdot 3491) = 9982 \text{ кг.}$$

Напряжение в сечении I-I

Верхние волокна (растяж.)

$$\sigma_6^{\text{I}} = \frac{P_{ш} \cdot b_{ш}}{W_6^{\text{I}}} = \frac{9982 \cdot 135}{1783} = 755 \text{ кг/см}^2$$

Нижние волокна (сжатие)

$$\sigma_6^{\text{I}} = \frac{P_{ш} \cdot b_{ш}}{W} = \frac{9982 \cdot 135}{1697} = 796 \text{ кг/см}^2$$

Напряжение в сечении II-II

Верхние волокна / растяжение /

$$\sigma_6^{\text{II}} = \frac{P_{ш} \cdot a}{W_6^{\text{II}}} = \frac{9982 \cdot 77}{1133} = 666 \text{ кг/см}^2$$

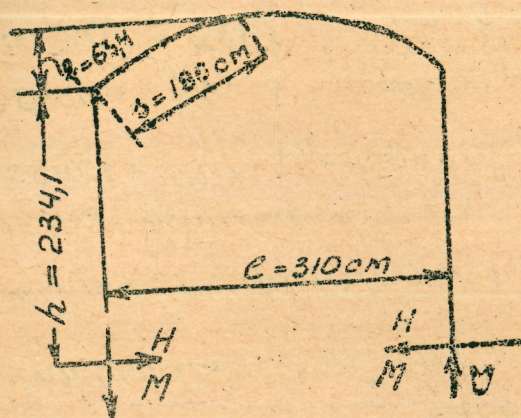
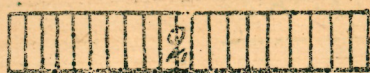
Нижние волокна (сжатие)

$$\sigma_6^{\text{II}} = \frac{P_{ш} \cdot a}{W_H^{\text{II}}} = \frac{9982 \cdot 77}{1074} = 714 \text{ кг/см}^2$$

Расчет кузова

Изгибающие моменты, возникающие в частях кузова от действия собственного веса крыши.

Схема загрузки



Рассматриваем пояс
боковой стены и крыши
шир. = 1790 мм. Вес 1 м²
крыши = 53,6 кг.
Равном. распрег. нагрузка
на единицу длины поя-
са и крыши

$$q_1 = \frac{53,6 \cdot 1,79 \cdot 3,72}{310} = 1,15 \text{ кг/см}$$

J_1 - мом. инерции боковины
сеч. по окну

$$J_1 = 192 \text{ см}^4 \text{ (см. пр. VI)}$$

J_2 - момент инерции сеч. пояса крыши

$$J_2 = 40,12 \text{ см}^4$$

(2 < 60 x 40 x 6)

$$K = \frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{h}{S} = \frac{40,12}{192} \cdot \frac{234,1}{186} = 0,263$$

(см. форм. для расч. рам Клейнлогеля стр. 158)

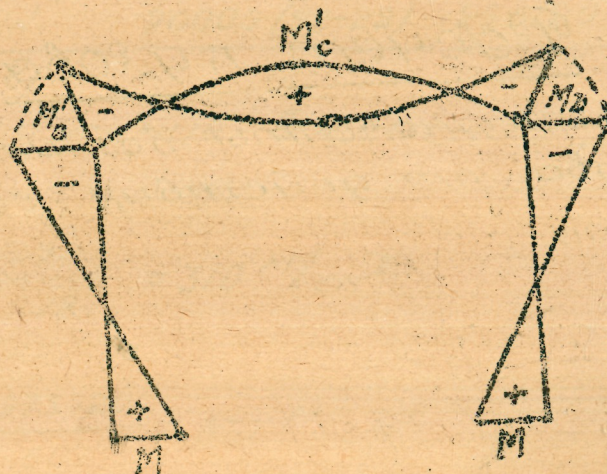
$$M = \frac{q_1 l^2}{48} \frac{Kh(8h+15f)+f(6h-17f)}{(Kh+f)^2+4K(h^2+hf+f^2)} = 4800 \text{ кг/см}$$

$$H = \frac{q_1 l^2}{8} \frac{h(4h+5f)f}{(Kh+f^2)^2+4K(h^2+hf+f^2)} = 58,4 \text{ кг.}$$

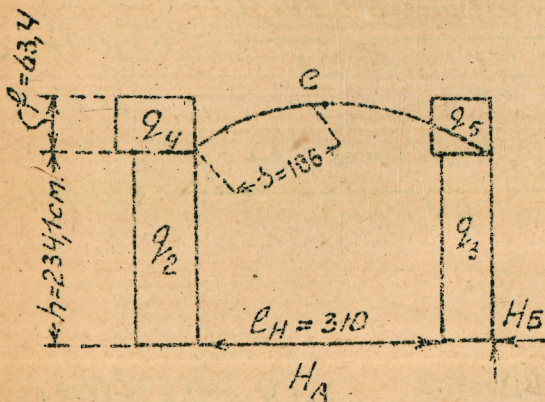
$$M'_B = M'_D = -Hh + M_A = 8900 \text{ кг. см.}$$

$$M'_C = -H(h+f) + M_A + \frac{q_1 l^2}{4} = 15100 \text{ кг. см.}$$

Эпюра изгибающих моментов



Изгибающие моменты, возникающие в частях кузова от действия центробежной силы и силы ветра



Рассматриваем пояс боковой стены и крыши шир. 1790 мм

Вес 1 м^2 крыши - 53,6 кг.

" " бок. стены - 88,5 кг

Давление ветра $p = 150 \text{ кг/м}^2$

Отношение центробеж.

ускорения к ускорению силы тяжести (на

крив. $R = 200 \text{ м.}$ при скорости $v = 70 \text{ км/час}$)

$$\frac{v^2}{gR} = \frac{70^2}{9,81 \cdot 200 \cdot 3,6^2} = 0,193$$

Из этих данных определяем нагрузки:
На поветренный пояс бок. стены:

$$q_2 = 0,0179 (88,5 \cdot 0,193 + 150) = 299 \text{ кг/см}$$

На противоположный пояс бок. стены:

$$q_3 = 0,0179 \cdot 88,5 \cdot 0,193 = 0,306 \text{ кг/см}$$

На поветренную полов. пояса крыши:

$$q_4 = 179 \left(\frac{53,6 \cdot 1,86}{63,4} \cdot 0,193 + 0,01 \cdot 150 \right) = 3,23 \text{ кг/см.}$$

На противополож. половину пояса крыши

$$q_5 = \frac{179 \cdot 53,6 \cdot 1,86}{63,4} \cdot 0,193 = 0,545 \text{ кг/см}$$

(См. Клейнгогель "формулы для расчета рам" стр. 160)

$$H_B = \frac{(q_2 - q_3)h^2 [k^2 h + k(3h + 2f)] + (q_4 - q_5)f [5fk(2h + f) + 2h^2 k(k + 4)h^2]}{4[hk + f] + 4k(h^2 + hf + f^2)}$$

$$+ q_3 h + q_5 f = 275 \text{ кг.}$$

$$H_A = (q_2 + q_3)h + (q_4 + q_5)f - H_B = 675 \text{ кг.}$$



$$M_A = \frac{(q_2 + q_3)h^2[h^2\kappa(\kappa + 6) + \kappa f(15h + 16f) + 6f^2] + (q_4 + q_5)f^2[h\kappa(4h + 9f) + f(6h + f)]}{24[(h\kappa + f)^2 + 4\kappa(h^2 + hf + f^2)]} - \frac{(q_2 - q_3)h^2(12\kappa + 6)}{24(3\kappa + 1)} - \frac{(q_4 - q_5)f[12h(3\kappa + 2) + 3f]}{24(6\kappa + 2)} = -63400 \text{ кгсм}$$

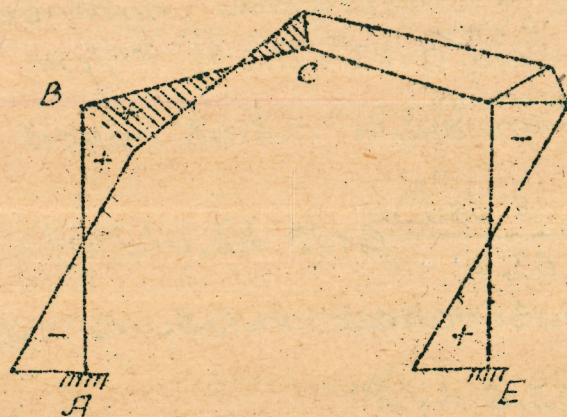
$$M'_B = M_A + 2 \frac{(q_2 - q_3)h^2(12\kappa + 6)}{3\kappa + 1} + 2 \frac{(q_4 - q_5)f[12h(3\kappa + 2) + 3f]}{24(6\kappa + 2)} = 30900 \text{ кгсм}$$

$$M_B = M_A + \frac{q_2 h^2}{2} + H_A h = 12300 \text{ кгсм}$$

$$M_C = M_B - \frac{q_4 f^2}{2} - \frac{(q_2 + q_3)h^2}{4} + \frac{(q_2 - q_3)h^2}{48} \cdot \frac{12\kappa + 6}{3\kappa + 1} - \frac{(q_4 + q_5)f(h + f_2)}{2} - \frac{(q_4 + q_5)f}{4,8} \cdot \frac{12h(3\kappa + 2) + 3f}{6\kappa + 2} + H_A f = 17100 \text{ кгсм}$$

$$M_D = M_B + \frac{q_3 h^2}{2} - H'_B h = -30200 \text{ кгсм}$$

Эпюра изгибающих моментов



Напряжение в стойках боковины
Сжатие:

$$\sigma_c = \frac{(M_A - M)_1}{W_B'} = \frac{63400 - 4800}{4,8} = 1220 \text{ кг/см}^2$$

(W_B', W_A' - см. пр. VII)

Растяжение

$$\sigma_p = \frac{M_B + M}{W_B'} = \frac{30900 + 4800}{4,8} = 745 \text{ кг/см}^2$$

Напряжение в листах боковины, сеч. внизу
Растяжение

$$\sigma_{PH}^2 = \frac{M_H - M}{W_H} = \frac{63400 - 4800}{380} = 154,5 \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_{CH}^2 = \frac{M_B + M}{W_H} = \frac{30900 + 4800}{380} = 94 \text{ кг/см}^2$$

Напряжение в верхн. сеч. боковины
(W_B, W_H - прил. VIII)

Сжатие

$$\sigma_{CB}^2 = \frac{M_D + M_D'}{W_B} = \frac{30200 + 8900}{465} = 81 \text{ кг/см}^2$$

Растяжение

$$\sigma_{PB}^2 = \frac{M_D + M_D'}{W_H} = \frac{30200 + 8900}{263} = 149 \text{ кг/см}^2$$

Расчет боковины

Усилия, действующие на боковину в вертикальной плоскости (см. фиг. 12)

I. Равномерно распредел. нагрузка на боковину.

1. Статическая $q_b = 5,45 \text{ кг/см}$ (см. стр. 2)

2. Слагающая от центробежн. силы и силы ветра.

а) Центробежная сила - P_c

Полный вес груженого кузова $Q_n = 4,9000 \text{ кг}$

Скорость поезда $v = 70 \text{ км/ч}$, радиус кривой

$r = 200 \text{ м}$,

Ускорение силы тяжести $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$

$$P_c = \frac{Q_n v^2}{g \cdot r \cdot 3,6^2} = \frac{49000 \cdot 70^2}{9,81 \cdot 200 \cdot 3,6^2} = 9470 \text{ кг.}$$

б) Ветровое усилие - P_b

Давление ветра $p = 150 \text{ кг/м}^2$

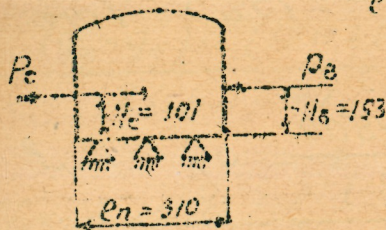
Площадь боковой проекции кузова

$$F = 24,83 \cdot 3,061 = 76,16 \text{ м}^2$$

$$P_b = pF = 150 \cdot 76,16 = 11424 \text{ кг.}$$

Слагающая на боковину от центробежн. силы
и силы ветра

$$R = \frac{P_c H_c + P_v H_v}{l_n} = \frac{9470,101 + 11424,153}{310} = 8740 \text{ кг.}$$



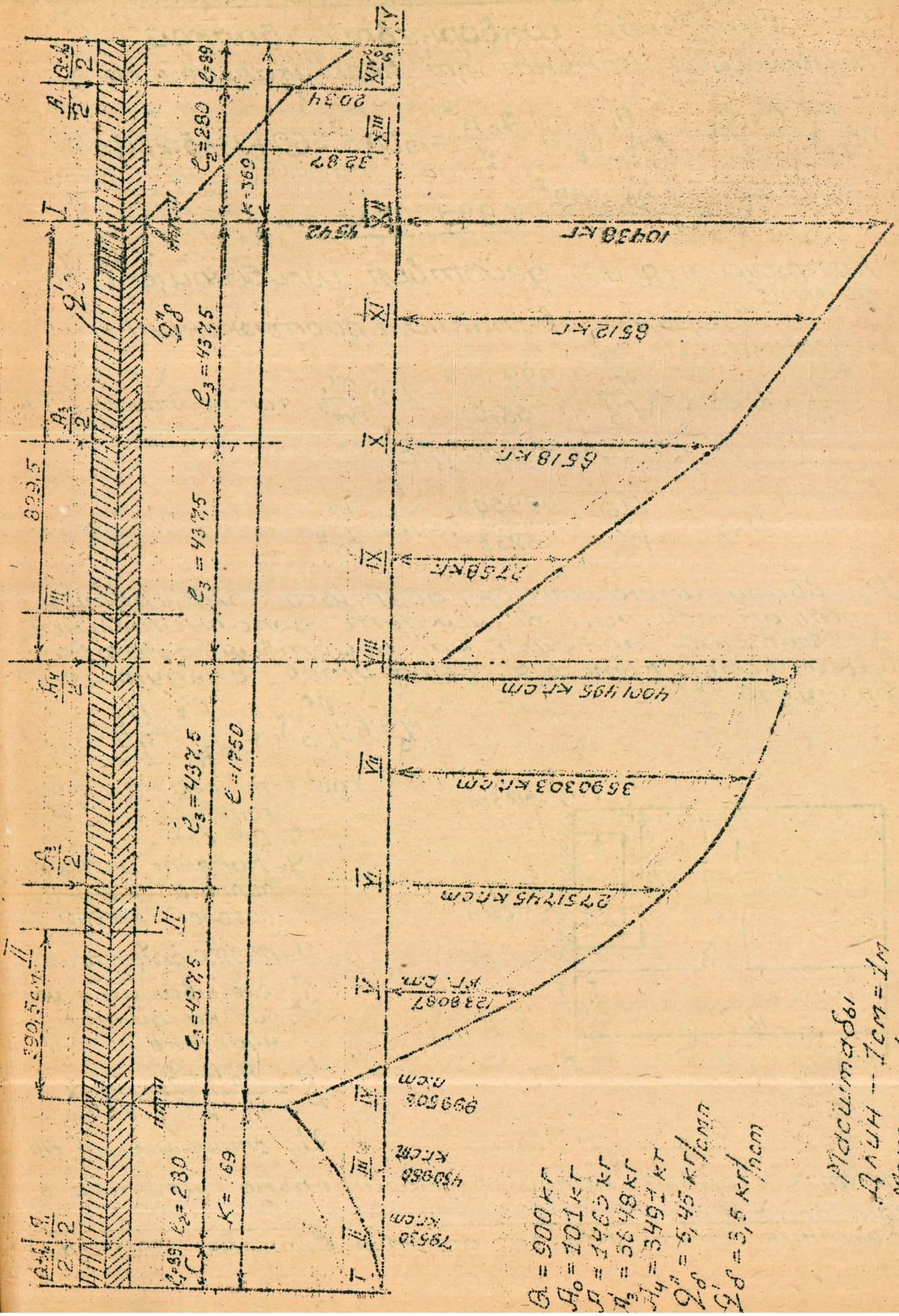
Полная равномерно распределенная нагрузка на боковину

$$q_n = q_0 + \frac{R}{l} = 5,45 + \frac{8740}{2488} = 8,96 \text{ кг/см.}$$

II Реакции поперечн. балок на боковину и
концевой стены:

$$\frac{R_1}{2} = 731,5 \text{ кг.}; \quad \frac{R_3}{2} = 1824 \text{ кг.}, \quad \frac{R_4}{2} = 1745,5 \text{ кг.}$$

$$\frac{Q_1 + R_0}{2} = 500,5 \text{ кг.}$$



$A = 900 \text{ кг}$
 $A_0 = 101 \text{ кг}$
 $A_1 = 146.5 \text{ кг}$
 $A_2 = 56.48 \text{ кг}$
 $A_3 = 349.7 \text{ кг}$
 $Q_0 = 5.45 \text{ кг/см}$
 $Q_1 = 5.5 \text{ кг/см}$

Масштабы
 Длина -- 1 см = 1 м
 Момент -- 1 см = 50000 кг·см

Напряжение в боковой стене

Сеч. I-I наг шкворневой балкой

Изгибающий момент от вертикальной нагрузки

$$M'_B = \frac{q_0 + q_1}{2} K + \frac{q_1}{2} P_2 + \frac{q_0 K^2}{2} = 500,5 \cdot 369 + 731,5 \cdot 280 + \frac{8,96 \cdot 369^2}{2} = 999505 \text{ кг. см}$$

Напряжения от действия изгибающего момента.

Верхние волокна (растяжение)

$$\sigma'_{BT} = \frac{M'_B}{W'_B} = \frac{999505}{5812} = 172 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (\text{см. приложение IX})$$

Нижние волокна:

$$\sigma'_{HT} = \frac{M'_B}{W'_H} = \frac{999505}{6233} = 160 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Но ввиду имеющегося зверного отверстия в данном сечении возникает дополнительный изгибающий момент от действия срезывающей силы, которая выражается следующей формулой: *

$$M_3 = t \int_{K_0}^K S_x dx \int_0^x \frac{U_2}{y \cdot t} dz (I)$$

где: t - толщина стенки вагона

$t = 0,4 \text{ см.}$

y - момент инерции полного сечения боковой стены.

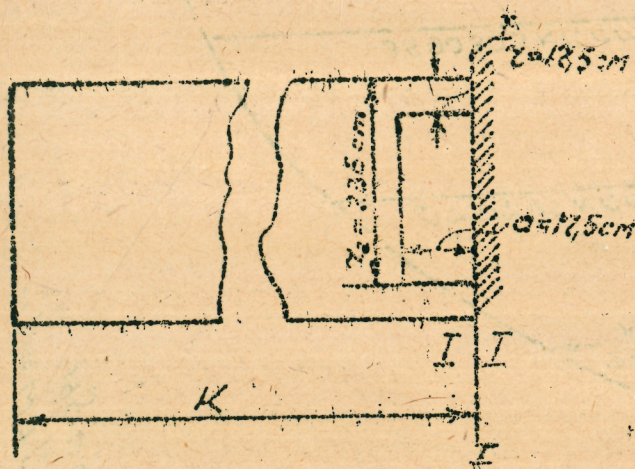
$y = 1799237 \text{ см}^4$ (см. прил. X)

S_x - срезывающее усилие на данном участке.

$$S_x = \frac{q_0 (q_1 + q_0)}{2} + q_1 x$$

U_2 - статический момент

z первых полос относительно нейтральной оси.



$$J_z^I = F_b \cdot d + \int_{z_1}^{z_2} t(c-z) dz = F_b \cdot d + t(z-z_1) \left(c - \frac{z+z_1}{2} \right)$$

$$F_b = 22,7 \text{ см}^2$$

F_b - площадь сечения верхнего пояса

d - расстояние от центра тяжести верхнего пояса сеч. I до нейтральной оси $d = 120,47 \text{ см}$.

c - расстояние от нейтральной оси до верхних волокон сечения $c = 131,4 \text{ см}$.

Поставляем найденные значения в формуле (I) получаем:

$$\begin{aligned} M_s^I &= \frac{1}{2} \int_{\kappa-a}^{\kappa} \left(\frac{A_0 + Q + A_1}{2} + q_n x \right) dx \int_{z_1}^{z_2} \left[F_b \cdot d + t(z-z_1) \left(c - \frac{z+z_1}{2} \right) \right] dz = \\ &= \frac{a(z_2-z_1)}{2J} [A_0 + Q + A_1 + q_n(2\kappa-a)] \left\{ F_b \cdot d + \frac{t}{2} \left[c(z_2-z_1) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{3} (z_2^2 + z_2 z_1 - 2z_1^2) \right] \right\} = \end{aligned}$$

$$M_s^I = 35785 \text{ кг. см.}$$

Изгибающий момент M_s^I делится пропорционально моментам инерции верхнего и нижнего поясов

$$J_b' = 703 \text{ см}^4 \quad J_n' = 1074 \text{ см}^4 \quad (\text{см. прилож. IX})$$

Дополнит. изгибающий момент на верхний пояс

$$M_s^{IB} = \frac{J_b}{J_b + J_n} M_s^I = \frac{703}{703 + 1074} \cdot 35787 = 14130 \text{ кг. см.}$$

Дополнительно изгибающий момент на нижний пояс

$$M_s^{IN} = M_s^I - M_s^{IB} = 35787 - 14130 = 21657 \text{ кг. см.}$$

Дополнительное напряжение
Верхние волокна (растяжение)

$$\sigma_{bI} = \frac{M_s^{IB} \cdot y_b}{J_b'} = \frac{14130 \cdot 8,9}{703} = 179 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна (сжатие)

$$\sigma_{HI}'' = \frac{M_{II}^{IH} \cdot J_H}{J_H} = \frac{21657,767}{1074} = 154 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Полные напряжения от вертикальной нагрузки

Верхние волокна (растяжение)

$$\sigma_{II}^{\sigma} = \sigma_{II}^{\sigma'} + \sigma_{II}'' = 172 + 179 = 351 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна (сжатие)

$$\sigma_{II}^H = \sigma_{II}^H' + \sigma_{II}'' = 160 + 154 = 314 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

$$\left[\begin{array}{l} B_0 = 12400 \text{ кг.} \\ J_H' = 28,28; \epsilon_H = 3,3 \text{ см} \\ (\text{прилож. IX}) \end{array} \right]$$

Напряжение от бурового удара: $\sigma_{II}''' = \frac{B_0}{J_H} + \frac{3_0 \epsilon_H J_0}{J_H} = 730 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

Суммарное напряжение всей I боковины

Верхние волокна (растяжение)

$$\sigma_I^{\sigma} = \sigma_{II}^{\sigma} + M \sigma_{\sigma\sigma}^{\sigma} = 351 + 0,3 \cdot 81 = 375 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (M=0,3 - \text{коэфф. Пуассона})$$

Нижние волокна

$$\sigma_I^H = \sigma_{II}''' + \sigma_{II}^H + M \sigma_{\sigma\sigma}^H = 730 + 314 + 0,01 \cdot 54,5 = 1095,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Сеч. II на расстоянии $x = 390,5 \text{ см}$ от центра шкворневой балки по окну.

Изгибающий момент от вертикальной нагрузки

База вагона $l = 1750 \text{ см.}$

$$\begin{aligned} M_{II}^{\sigma} &= \frac{q_n l x}{2} \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \frac{R_3}{2} x + \frac{R_4}{4} x - M_{II}^I = \\ &= \frac{8,96 \cdot 1750 \cdot 390,5}{2} \left(1 - \frac{390,5}{1750}\right) + 1824 \frac{390,5}{2} + 1745,5 \cdot 390,5 - 999505 = \\ &= 2417050 \text{ кг. см.} \end{aligned}$$

Напряжения от действия изгибающего момента M_{II}^{σ}

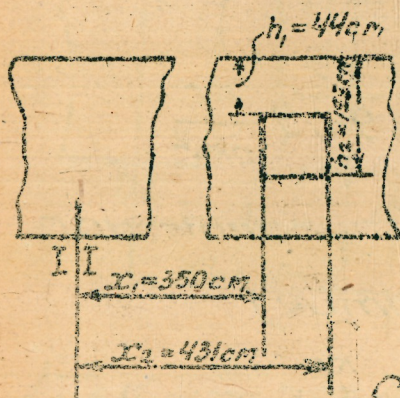
Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_{II}^{\sigma'} = \frac{M_{II}^{\sigma}}{W_{\sigma}} = \frac{2417050}{5812} = 416 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (W - \text{см. прилож. IX})$$

Нижние волокна (растяжение)

$$\sigma_{II}^H = \frac{M_{II}^{\sigma}}{W_H} = \frac{2417050}{9110} = 265 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Ввиду имеющегося окна в данном сечении возникнет дополнительный изгибающий момент, от действия срезающей силы, который выражается формулой.



$$M_S = t \int_{x_1}^{x_2} S_x dx \int_{n_1}^{n_2} \frac{U_2}{y_t} dz$$

Срезающая сила на данном участке:

$$S_x = \frac{R_3 + 0,5 R_4 + Q_n l}{2} - Q_n x$$

Момент инерции $J = 1799257 \text{ см}^4$ (полное сеч.)

толщина $t = 0,4 \text{ см.}$

Статический момент

$$U_2 = F'_B d_1 + t(z - n_1) \left(c_1 - \frac{z + n_1}{2} \right)$$

где: площ. верхнего пояса $F'_B = 30,48 \text{ см}^2$

Расстояние от центра тяжести верхн. пояса

до нейтр. оси $d_1 = 134,65$

" " " нейтр. оси до верхних волокон

верхн. пояса $c_1 = 154,45 \text{ см.}$

$$M_S'' = \frac{1}{J} \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{R_3 + 0,5 R_4 + Q_n l}{2} - Q_n x \right) dx \int_{n_1}^{n_2} \left[F'_B d_1 + t(z - n_1) \left(c_1 - \frac{z + n_1}{2} \right) \right] dz =$$

$$= \frac{(x_2 - x_1)(n_2 - n_1)}{2J} \left[R_3 + 0,5 R_4 + Q_n(l - x_2 - x_1) \right] \left\{ F'_B d_1 + \frac{t}{2} \left[c_1(n_2 - n_1) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{1}{3}(n_2^2 + n_2 n_1 - 2n_1^2) \right] \right\} = 218196 \text{ кг.см.}$$

Этот момент разделится между поясами пропорционально их моментам инерции

$$J_B = 7319 \text{ см}^4; J_n = 69370 \text{ см}^4$$

Дополнит. изгив. мом. в верхнем поясе

$$M_S''^B = \frac{J_B}{J_B + J_n} M_S'' = \frac{7319}{7319 + 69370} 218196 = 20816 \text{ кг.см.}$$

Дополнительный изгибающий момент в нижн. поясе

$$M_S''^H = M_S'' - M_S''^B = 218196 - 20816 = 197380 \text{ кг.см.}$$

Дополнительное напряжение
Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_{вд}'' = \frac{M_{с}^{вд} \cdot y_{в}}{J_{в}} = \frac{20816 \cdot 19,8}{7319} = 60 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна

$$\sigma_{нд}'' = \frac{M_{с}^{нд} \cdot y_{н}}{J_{н}} = \frac{197380 \cdot 33,4}{69370} = 94,9 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Полное напряжение от вертикальн. нагрузки

Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_{вд}^b = \sigma_{вд}' + \sigma_{вд}'' = 416 + 60 = 476 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна (растяжение)

$$\sigma_{нд}^h = \sigma_{нд}' + \sigma_{нд}'' = 265 + 94,5 = 359,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Суммарное напряжение в сеч. II боковины

Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_{вд}^b = \sigma_{вд}^b + M \sigma_{рв}^b = 476 + 0,3 \cdot 149 = 521 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна (растяжение)

$$\sigma_{нд}^h = \sigma_{нд}^h + M \sigma_{сп}^h = 359,5 + 0,3 \cdot 94 = 387,7 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Сеч. III на расстоянии 826 см. от оп.
Изгибающий момент от вертикальной нагрузки

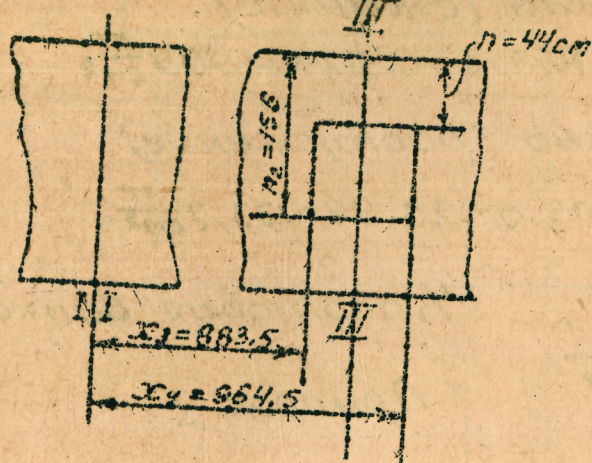
$$M_{с}^{III} = \frac{q_1 l x}{2} \left(1 - \frac{x}{c}\right) + \frac{q_3 l}{2} + \frac{q_4 x}{4} - M_0 = \frac{8,96 \cdot 1750 \cdot 826}{2} \left(1 - \frac{826}{1750}\right) +$$

$$+ \frac{3548}{2} \cdot 437,5 + \frac{3491}{4} \cdot 826 - 999505 = 6959307 \text{ кг. см.}$$

Напряжения от действия изгибающ. момента M

$$\sigma_{вд}^I = \frac{M_{с}^{III}}{W_{б}^{III}} = \frac{6959300}{7319} = 950 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (\text{в см. прилож. 8})$$

Нижние волокна (растяжение)



$$\sigma_{HIII} = \frac{M_{II}}{W_{III}} = \frac{6959300}{69370} = 100 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Дополнительный изгибающий момент от срезывающего усилия будет:

$$M_s = \frac{(x_2 - x_1)(n_2 - n_1)}{2y} [0,5A_2 + q_2(x_2 - x_1)]$$

$$\left\{ +60 + \frac{t}{2} \left[c_1(n_2 - n_1) - \frac{1}{3}(n_2^2 + n_2 n_1 - 2n_1^2) \right] \right\} = 12446 \text{ кг. см.}$$

Этот момент разделится между поясами пропорционально их моментам инерции

$$J_B = 7319 \text{ см}^4; J_H = 69370 \text{ см}^4$$

Дополнительный изгиб. момент в верхнем поясе

$$M_s^{IVB} = \frac{J_B}{J_B + J_H} \cdot M_s = \frac{7319}{7319 + 69370} \cdot 12446 = 1182 \text{ кг. см.}$$

Дополнительный изгибающий момент в нижнем поясе

$$M_s^{IHH} = M_s^{III} - M_s^{IVB} = 12446 - 1182 = 11264 \text{ кг. см.}$$

Дополнительное напряжение

Верхние волокна

$$\sigma_{BIV} = \frac{M_s^{IVB}}{J_B} = \frac{1182 \cdot 198}{7319} = 3,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Нижние волокна

$$\sigma_{BIII} = \frac{M_s^{IHH}}{J_H} = \frac{11264 \cdot 33,4}{69370} = 5,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Полное напряжение от вертикальной нагрузки

Верхние волокна (сжатие)

$$\sigma_{BIP} = \sigma_{BIV} + \sigma_{BIII} = 950 + 3,2 = 953,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

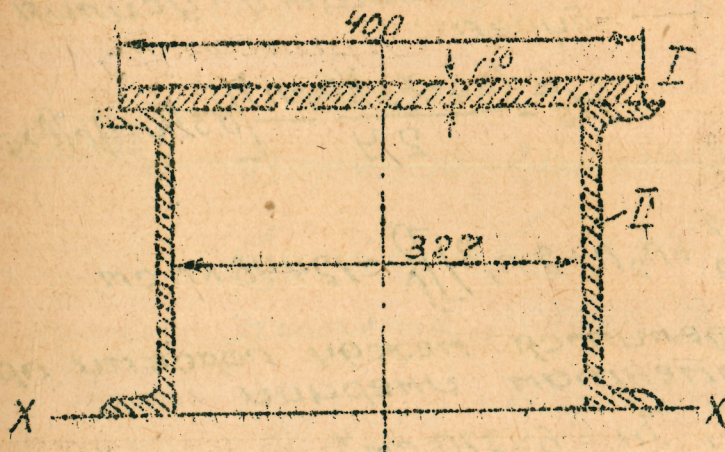
Нижние волокна (растяжение)

$$\sigma_{BIP} = \sigma_{BIII} + \sigma_{BIII} = 100 + 5,5 = 105,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Суммарное напряжение в сеч. III боковины

Верхние волокна (сжатие)
 $\sigma_{\text{в}}^{\text{в}} = \sigma_{\text{в}}^{\text{н}} + M \sigma_{\text{рв}}^2 = 953,2 + 0,3 \cdot 149 = 999 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

Нижние волокна (растяжение)
 $\sigma_{\text{н}}^{\text{н}} = \sigma_{\text{н}}^{\text{н}} + M \sigma_{\text{сн}}^2 = 105,5 + 0,3 \cdot 94 = 133,7 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$



Угребтовая балка

Прилож. I

Сечение угребтовой балки

Элементы сечения	F	y	Fy	c	c ²	Fc ²	J _x
I	40	30,5	1220	11,7	136,89	5475,6	3,3
II x 2	24,6	15	369	3,8	14,44	1799,2	16722
Σ	164,6	—	3089	—	—	7274,8	16725,3

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{3089}{164,6} = 18,8 \text{ см}$$

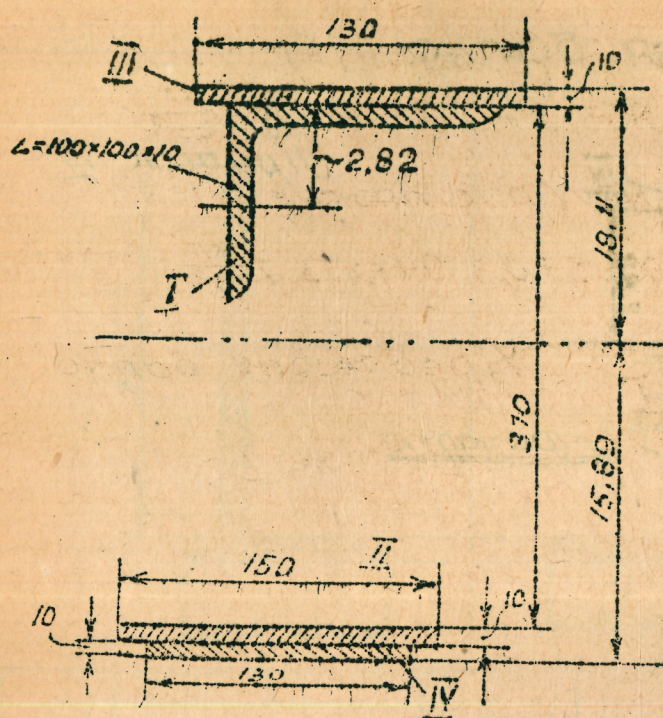
$$\bar{y}_2 = 31 - 18,8 = 12,2 \text{ см}$$

$$J_0 = \sum Fc^2 + \sum J_x = 7274,8 + 16725,3$$

$$J_0 = 24000,1 \text{ см}^4$$

$$W_e = \frac{J_0}{\bar{y}_2} = \frac{24000,1}{12,2} = 1967,2 \text{ см}^3$$

$$W_H = \frac{J_0}{\bar{y}_1} = \frac{24000,1}{18,8} = 1276,6 \text{ см}^3$$



Поперечная
несущая
балка рамы
25 м. вагона.

Прилож. II

№	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
1	19,2	30,18	579,265	14,29	204,2	3920,64	176,3
2	15	1,5	22,5	14,39	207,07	310,6	2,16
3	13	33,5	435,5	17,61	310,1	4031,3	1,1
4	13	0,5	6,5	15,39	236,85	307,9	1,1
Σ		55,68	1044				

$$C_y = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{1044}{15,68} = 158,9$$

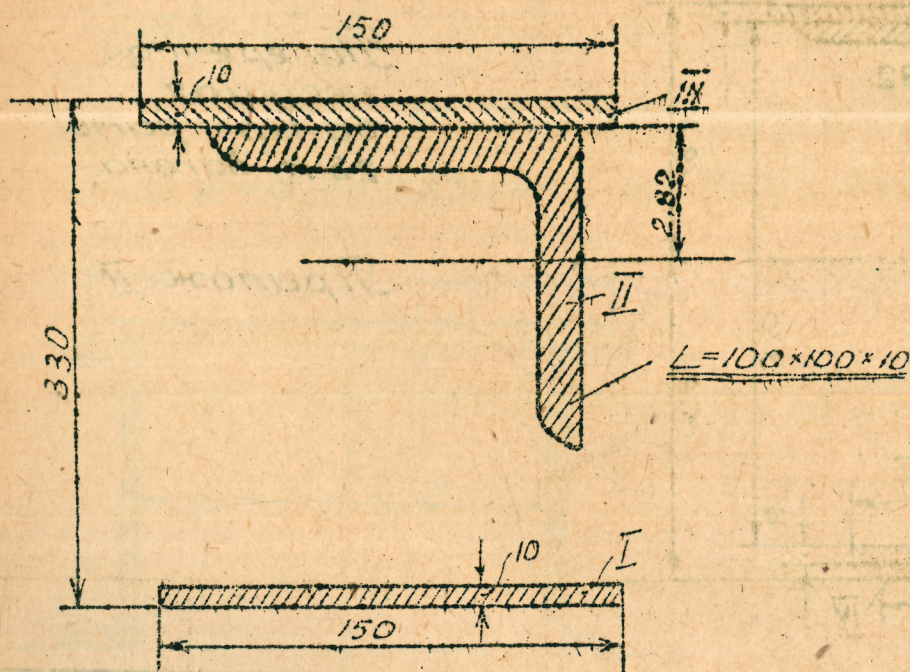
$$J = \sum Fd^2 + \sum J_0 = 14136,94 + 180,06 = 14317 \text{ см}^4$$

$$W_{\text{низ}} = \frac{14317}{15,89} = 901 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{верх}} = \frac{14317}{18,11} = 790,5 \text{ см}^3$$

Лобовая балка

Прилож. III



Nº	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
I	15	0,5	7,5	21,95	438,9	6583,5	1
II	19,17	2918	560	7,73	59,75	1145,5	328
III	15	32,5	487,5	11,05	122,1	11831,5	1
Σ	4917		551			9560,5	

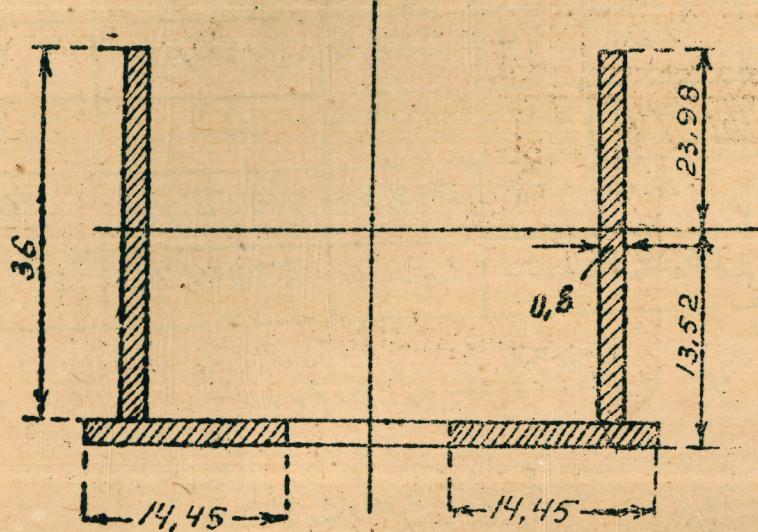
$$G = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{1056}{49,17} = 21,45 \text{ cm}$$

$$J = \sum Fd^2 + \sum J_0 = 9560 + 330 = 9890 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{низ}} = \frac{9890}{21,45} = 4,61 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{верх}} = \frac{9890}{11,05} = 856 \text{ cm}^3$$

Буферный брус



Прилож. IV

$j, 2$	F	y	Fy	d	d^2	Fd	γ_0
1	57.6	18.8	10829	5.28	27.87	1605	6220
2	23.12	4	9,248	13.12	172.13	3980	1
Σ	8072		1092				

$$G = \frac{1092}{8072} = 13.52 \text{ см}$$

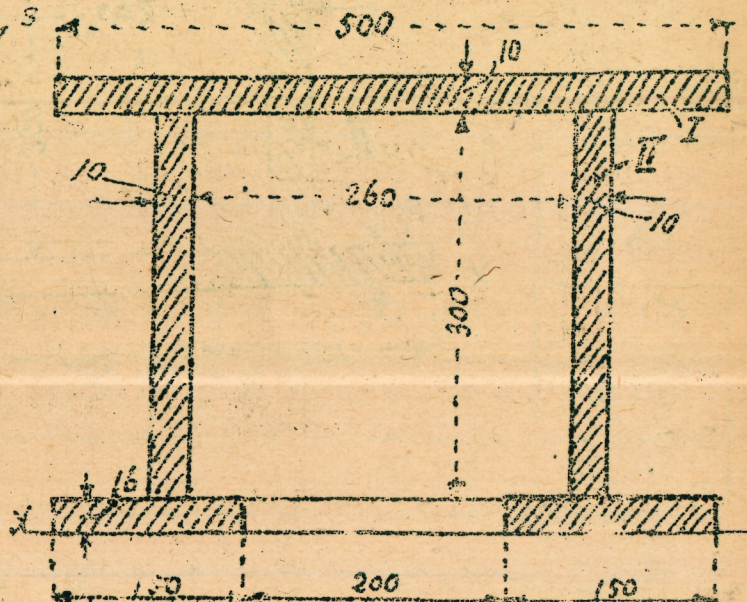
$$W_{\text{ннт}} = \frac{11806}{13.52} = 878 \text{ см}^2$$

Шкворневая балка

(сег. у хребтовой балки)

$$W_{\text{вспр}} = \frac{11806}{23.28} = 507 \text{ см}^3$$

$$J = 11806 \text{ см}^4$$



Прилож. V-а

Элементы сечения	F	y	Fy	c	c ²	Fc ²	Jx
I	50	32,1	1605	15,4	237,16	11858	4,16
II x 2	60	16,6	996	0,1	0,01	0,6	4500
III x 2	48	0,8	38,4	15,8	249,64	11982,72	10,24
Σ	158	---	2639,4	---	---	23841,32	4514,4

$$\bar{y}_1 = \frac{2639,4}{158} = 16,7 \text{ см.}$$

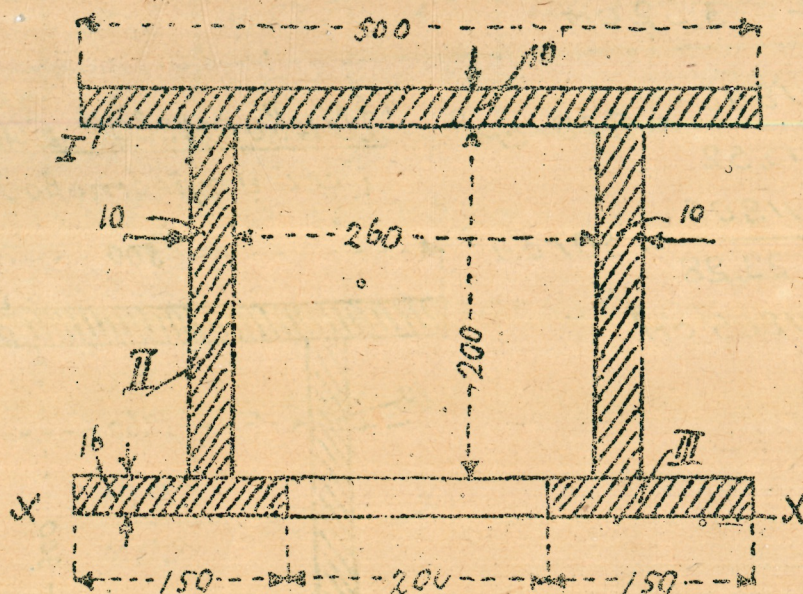
$$\bar{y}_2 = 32,5 - 16,7 = 15,9 \text{ см.}$$

$$J = 23841,32 + 4514,4 = 28355,72 \text{ см}^4$$

$$W_{\text{низ}} = \frac{28355,72}{16,7} = 1697 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{верх}} = \frac{28355,72}{15,9} = 1783 \text{ см}^3$$

ШКВОРНЕЗЛАЯ БАЛКА (у начала скота)



Прилож. V-В

Элементы сечения	F	y	Fy	c	c ²	Fc ²	Jx
I	50	22,1	1105	10,5	110,25	5512,5	4,16
II x 2	40	11,6	464	0	0	0	1333,2
III x 3	48	0,8	38,4	10,8	116,64	5598,72	10,24
Σ	138	—	1607,4	—	—	11111,22	1347,6

$$\bar{y}_1 = \frac{1607,4}{138} = 11,6 \text{ см.}$$

$$\bar{y}_2 = 22,6 - 11,6 = 11 \text{ см.}$$

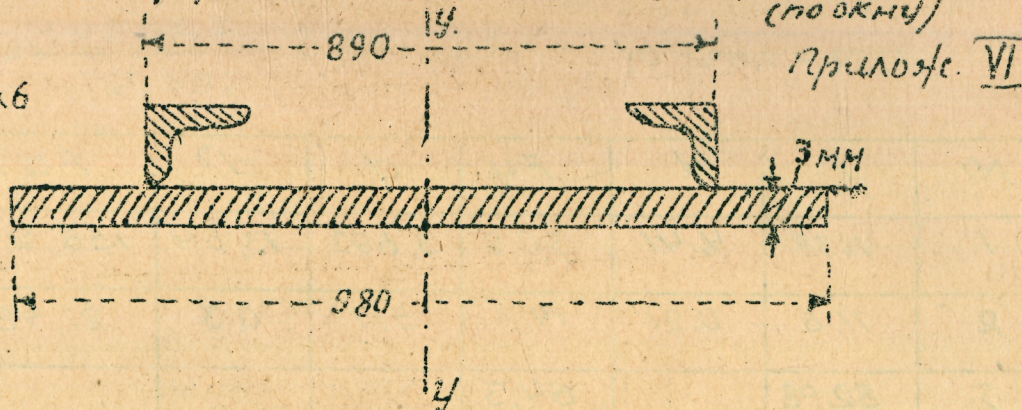
$$J_0 = 1347,6 + 11111,22 = 12458,8 \text{ см}^4$$

$$W_0 = \frac{12458,8}{11} = 1132,6 \text{ см}^3$$

$$W_H = \frac{12458,8}{11,6} = 1074,0 \text{ см}^3$$

Момент инерции боковой 26 мтр вагона (поокну)

L = 60 x 40 x 6



Элем. сечен.	F _{см}	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J
I	29,4	0,15	4,41	1,59	2,63	74,38	2,65
II	5,69	4,31	24,52	2,57	6,6	37,55	20,06
III	5,69	4,31	24,52	2,57	6,6	37,55	20,06
Σ	30,78		83,45			149,48	42,77

$$\bar{y} = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{83,45}{30,78} = 2,71; J = \sum Fd^2 + \sum J = 149,48 + 42,77 = 192,25 \text{ см}^4$$

Момент инерции относительно оси у-у

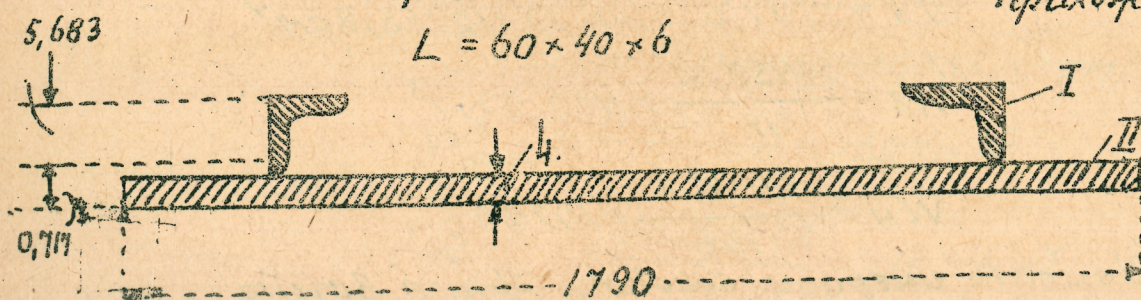
Элем. сечен.	F	X	F _x	d	d ²	Fd ²	J
I	29,4	-	-	-	0	0	17624,2
II	5,69	-	-	-	43,49	1891,4	7,07
III	5,69	-	-	-	43,49	1891,4	7,07
Σ	40,78	-	-	-		3782,8	17638,34

$$J = \sum Fd^2 + \sum J = 3782,8 + 17638,34 = 21421,14 \text{ см}^4$$

Верхний пояс боковины

Прилож. VII

$$L = 60 \times 40 \times 6$$



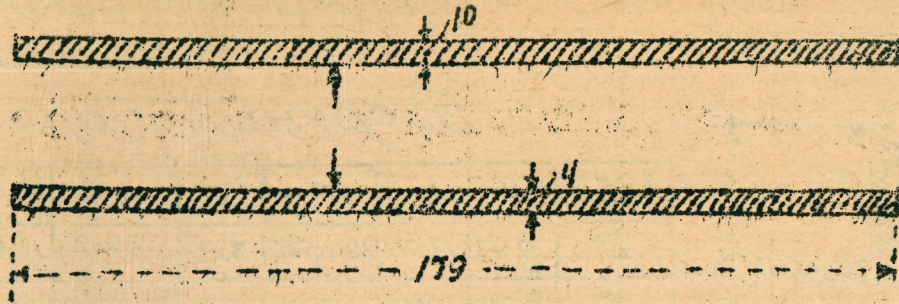
№	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
1	11,38	4,41	50,2	3,693	13,64	155,2	84
2	71,6	0,21	14,3	517	0,3	21,48	11,45
Σ	82,98		64,3				

$$\bar{y} = \frac{64,5}{89,98} = 0,717$$

$$J = 272,13 \text{ см}^4$$

$$W_{\text{верх}} = \frac{272,13}{5,683} = 48 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{низ}} = 380 \text{ см}^3$$



N°	F	y	Fy	d	d²	Fd²	J₀
I	179	4,1	733,9	1,115	1,2	204,8	14,05
II	71,6	0,2	14,32	2,785	7,75	554,9	11,45
Σ	250,6		748,22			759,7	25,50

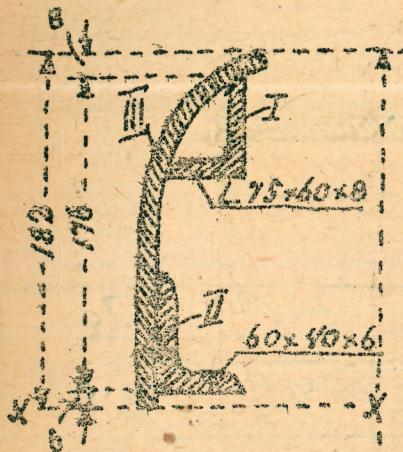
$$\bar{y} = 2,985$$

$$J = \sum Fd^2 + \sum J_0 = 759,7 + 25,5 = 785,3 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{мз}} = \frac{785,3}{2,985} = 263 \text{ cm}^3 \quad W_{\text{вєрх}} = 485$$

Сечение боковой стенки по боковой гвери
Приложение IX

Верхний пояс.



эле- менты	F	y	Fy	c	c ²	Fc ²	J _x
I	9,43	13,21	124,570	3,93	15,445	145,646	51,9
II	5,69	2,59	14,737	6,71	45,02	256,163	20,06
III	7,6	9,5	72,20	0,2	0,04	0,304	228,6
Σ	22,72	211,507				402,113	300,56

$$y = \frac{\Sigma Fy}{\Sigma F} = \frac{211,507}{22,72} = 9,3$$

$$J_y = \Sigma J_x + \Sigma Fc^2 = 300,56 + 402,113 = 702,673 \text{ см}^4$$

Нижний пояс

Nº	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
I	7	8,75	61,25	1,08	1,16	8,12	178,676
II	5,69	15,43	87,8	2,76	60,22	342,65	42,6
III	15,59	4,37	68,15	3,3	10,89	169,77	331
Σ	28,28		217,18			52,54	553,25

$$c = \frac{217,18}{28,28} = 7,67 \quad J = 1074 \text{ см}^4$$

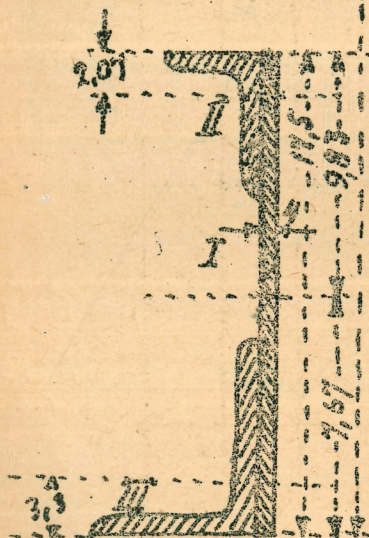
Подсчет полного сечения по
гверному месту

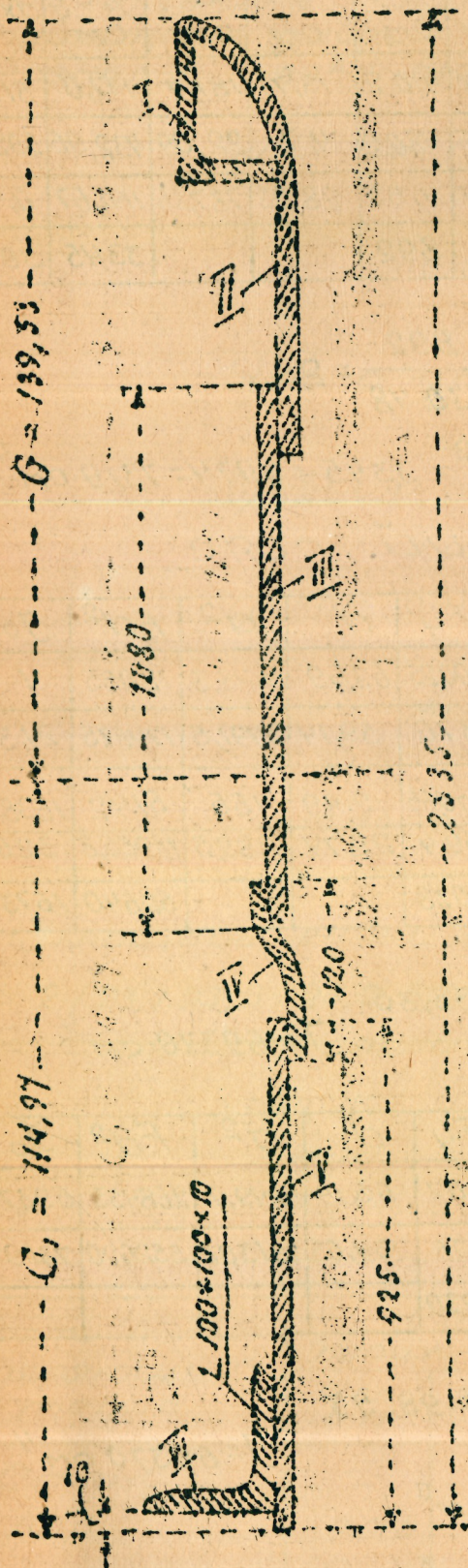
Nº	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
Нижн. пояс	2828	7,67	21634	105,53	11136,6	314943	702,613
Верхн. пояс	2272	244,6	55575	131,4	17266	392283	1074
Σ	51	5773,64					

$$c = \frac{5773,64}{51} = 113,2 \quad J = 709003 \text{ см}^4$$

$$W_{\text{верх}} = \frac{709003}{131,4} = 5812 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{ниж}} = \frac{709003}{113,2} = 6263 \text{ см}^3$$





$$C_1 = 114,97$$

$$C = 139,53$$

Nº	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	%
I	2,43	248,46	2343	154,09	17950,8	159552,0	111,4
II	19,4	229,25	4447,45	75,28	5667,03	109510,5	3802,8
III	32,4	155	5022	41,03	1683,46	3454,4	3149,2
IV	4,8	94,5	453,6	20,37	414,94	199,7	57,6
V	37	46,25	1716,25	68,72	4722,4	17470,3	2638,1
VI	19,17	3,82	73,23	11,15	123,54	23683,9	388,7
Σ	122,2		14050,52			1737064	67173,5

$$C = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{14050,52}{122,2} = 114,97$$

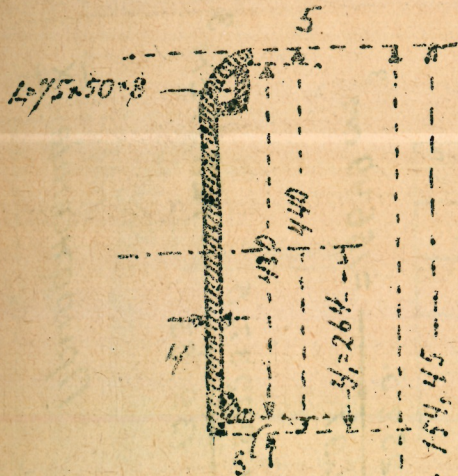
$$J = \sum Fd^2 + \sum J_0 = 1737064 + 62173,5 = 1799237,5 \text{ cm}^4$$

$$W_{x03} = \frac{1799237,5}{114,97} = 15649 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{берн}} = \frac{1799237,5}{139,53} = 12894 \text{ cm}^3$$

Приложение X

Сечение боковой стенки 25м. вагона по окну
Верхний пояс.

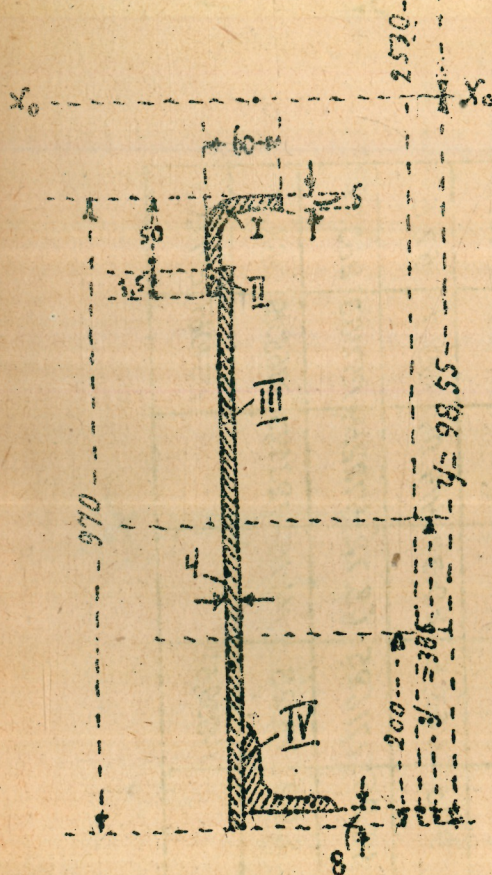


Элементы сеч.	F см ²	y см	Fy см ³	c см	c ² см ²	Fc ² см ⁴	J _{x, x₁}
I	9,43	43,5	410,2	13,7	187,7	177,0	51,9
II	19,6	24,5	480,2	4,7	22,09	432,96	392,5
III	1,45	1,14	1,65	28,06	787,36	114,67	0,49
Σ	30,48		892			3345	3974

$$y = \frac{\sum Fy}{\sum F} = \frac{892}{30,48} = 29,2$$

$$J = \sum J_x + \sum Fc^2 = 3345 + 3974 = 7319 \text{ см}^4$$

Нижний пояс



N ^o	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
I	3	96,75	290,25	63,69	4018,3	12055	1
II	4	92,5	370	59,14	3497,5	174875	21,3
III	37	46,25	17065	12,89	166	6142	16382
	19,7	3,62	69,4	29,74	889,5	16955,8	325
Σ	63,7		2107,8			52640	16730

$$c = \frac{2107,8}{63,7} = 33,36$$

$$J = 69370 \text{ см}^4$$

N ^o	F	y	Fy	d	d ²	Fd ²	J ₀
Ниж. пояс.	63,7	33,36	2107	65,19	4249,7	268453	6937
Верх. пояс.	30,48	23,7	725	134,65	18130,6	552620	7319
	93,65		9230				

$$c = \frac{9230}{93,65} = 98,55$$

$$J = 69370 \text{ см}^4$$

$$W_{\text{верх}} = 5312 \text{ см}^3$$

$$W_{\text{ниж.}} = 9110 \text{ см}^3$$

Расчет водяного отопления вагона

1. Определим часовую потребность тепла кузовом при разности температур внутренней и наружной $t - t_0 = 50^\circ\text{C}$. причем температуру тамбура принимаем равной наружной температуре t_0 . Размеры кузова без тамбуров в метрах следующие:

а) стен продольных длина - 23,1 м.

" " высота - 2,35 м.

" поперечных длина - 3,1 м.

" " высота - 2,62 м.

б) пола длина - 23,1 м.

" ширина - 2,948 м.

в) крыши длина - 23,1 м.

" ширина - 3,4 м.

г) окон больших высота - 1,07 м.

" " ширина - 0,8 м.

" малых высота - 1,07 м.

" " ширина - 0,56 м.

число окон больших - 22 шт.

" " малых - 6 шт.

Площадь стен за вычетом окон равна:

$$2 \cdot (23,1 \cdot 2,35 + 26,2 \cdot 3,1) - 1,07 (0,56 \cdot 6 + 0,8 \cdot 22) = 102,387 \text{ м}^2$$

$$\text{площадь пола } 23,1 \times 2,948 = 68,07 \text{ м}^2$$

$$\text{крыши } 23,1 \times 3,4 = 78,54 \text{ м}^2$$

$$\text{окон } 1,07 (0,56 \cdot 6 + 0,8 \cdot 22) = 22,427 \text{ м}^2$$

Конструкция стен, пола, крыши и окон указана в нижеследующей таблице:

Части вагона, теряющие тепло	Сосна				Шеделин		Стекло		Приме- чание
	Наружная		Внутр.		тол- щина в м.	Обозн	тол- щина в м.	Обозн	
	толщ. в м.	Обозн.	тол- щина в м.	Обозн					
Стена	-	-	0.012	ρ_2	0.025	ρ_3	-	-	Желез- ная об- шивка во внимание не при- нята.
Пол	0.016	ρ_1'	0.040	ρ_2'	0,025	ρ_3	-	-	
Крыша	0.020	ρ_1''	0.006	ρ_2''	0,025	ρ_3	-	-	
Окна	-	-	-	-	-	-	0.007	ρ_4	

Для упрощения расчета с заведомым уклоном в невыгодную сторону не принято во внимание влияние воздушных прокладок в стенах, потолке и полу. На основании этого для определения потерь тепла через стены, пол и крышу будет пользоваться формулой теплопередачи через составную стенку без воздушных прокладок:

$$W_1 = \frac{t - t_0}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1 + l_2}{\lambda_1} + \frac{l_3}{\lambda_2}} \quad (A), \text{ где}$$

λ_1 - коэффициент теплопроводности сосны 0,15

λ_2 - " " швеллера 0,045

α - " " отдачи тепла

W_1 - количество единиц тепла, теряемое в 1 час с одного квадратного метра поверхности стены при разности температур наружного и внутреннего воздуха $t - t_0 = 50^\circ \text{C}$

l_1, l_2, l_3 - толщина стальных слоев составных элементов стенки.

$$\text{По Стекле} \quad \alpha = l + S + (0,0075l + 0,0056S)(\Delta - \Delta) \quad (B),$$

где: l - коэффициент потери тепла твердым телом от соприкосновения с ним воздуха

S - коэффициент лучеиспускания

$\Delta - \Delta$ разность температур между твердым телом и воздухом.

l для внутреннего воздуха - 4, для наружного - 6

$\Delta - \Delta$ для внутренних деревянных стен - 2°

S - для масляной краски - 3,7

Подставляя эти значения в формулу Б для значений α и α_1 , имеем:

$$\alpha = 6 + 3,7 + (0,0075 \cdot 6 + 0,0056 \cdot 3,7) \cdot 2 = 9,832$$

$$\alpha_1 = 4 + 3,7 + (0,0075 \cdot 4 + 0,0056 \cdot 3,7) \cdot 2 = 7,802$$

Подставляя найденные значения в формулу А, имеем для стен:

$$W_1 = \frac{50}{\frac{1}{9,832} + \frac{1}{7,802} + \frac{0,012}{0,15} + \frac{0,025}{0,045}} = \frac{50}{0,8597} = 58,15 \text{ Т.Е.}$$

Для пола формула А примет следующий вид:

$$W_2 = \frac{50}{\frac{1}{9,832} + \frac{1}{7,802} + \frac{0,012}{0,15} + \frac{0,025}{0,045}} = \frac{50}{0,8597} = 58,15 \text{ Т.Е.}$$

Для окон при двойных рамах цифровые значения в формуле Б след:

со стороны наружного воздуха $\ell = 6$

" " внутрен. " $\ell = 4$

для поверхностей, обращенных к воздушной прослойке между двумя стеклами $\ell = 5$

Для стекляных двойных поверхностей $\Delta t_0 = 10^\circ$

Для стекол $S = 2,91$

При этих значениях формула Б примет вид:

$$\alpha = 6 + 2,91 + (0,0075 \cdot 6 + 0,0056 \cdot 2,91) / 10 = 9,523$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 5 + 2,91 + (0,0075 \cdot 5 + 0,0056 \cdot 2,91) / 10 = 8,45$$

$$\alpha_3 = 4 + 2,91 + (0,0075 \cdot 4 + 0,0056 \cdot 2,91) / 10 = 7,37$$

Для двойных стекол формула А примет вид:

$$W_4 = \frac{t - t_0}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\ell_4}{\lambda_3}} \dots \dots \dots B$$

Подставляя цифровые значения

$$W_4 = \frac{60}{\frac{1}{9,52} + \frac{1}{8,45} + \frac{1}{8,45} + \frac{1}{7,37} + \frac{0,007}{0,07}} = 86,65 \text{ T.E}$$

Полная таблица потери в 1 час всем кузовом вагона составлена по данной таблице 2:

Части кузова	Площадь в кв. м.	Потеря тепла с 1 кв. м.	Полная часовая потеря кузова
Стена	108,387	58,15	6302,7
Пол	68,07	43,36	2951,51
Крыша	78,54	49,03	3850,82
Окна	22,427	86,65	1943,3

Всего 15048,33

Вследствие дополнительной потери тепла через неплотности окон и во время открывания дверей добавляем 20%

Общая часовая потеря тепла = $15048,33 \cdot 1,2 = 18058$ единиц, тепла.

2) Расчет нагревательной поверхности труб.

$$F = \frac{W}{k \left(\frac{t' + t''}{2} - t_2 \right)} \dots \dots \dots \text{с}$$

F - отдающая тепло поверхность в м^2

W - часовая потеря тепла помещением = 18058

t' - начальная температура воды при горячей точке; нач. температура воды может достигать $t' = 90^\circ$

t'' - конечная температура воды = 50°

t_2 - температура воздуха внутри вагона = 12°

k - коэффициент теплоотдачи горизонтальных труб при разности температур $70^\circ - 12^\circ = 58^\circ$; коэффициент теплоотдачи можно принять $k = 12,5$.

Подставляя цифровые значения в формулу (с), имеем:

$$F = \frac{18058}{12,5 \left(\frac{90 + 50}{2} \right) - 12} = \frac{18058}{725} = 24,9 \text{ м}^2$$

Узнаем имеющуюся у нас нагревательную поверхность труб.

1) Длина круглых $2 \frac{1}{2}$ " труб $\ell = 45 \text{ м}$.

2) Длина овальных труб (изготовленных из круглых труб диаметром $d = 4"$) $\ell = 38 \text{ м}$.

Определяем поверхность нагрева круглых труб:

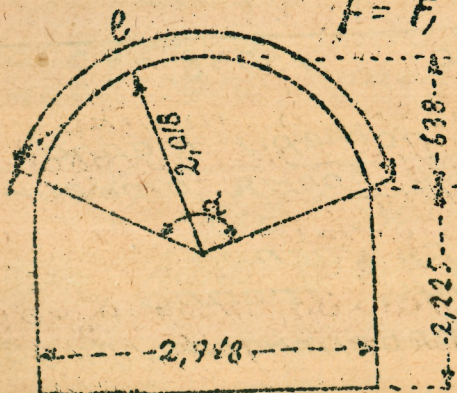
$$F_1 = \pi d \cdot \ell = 3,14 \cdot 0,0755 \cdot 45 = 10,91 \text{ м}^2$$

Определяем поверхность нагрева овальных труб:

$$F_2 = \pi d \cdot \ell = 3,14 \cdot 0,108 \cdot 38 = 12,88 \text{ м}^2$$

Поверхность нагрева всех труб:

$$F = F_1 + F_2 = 10,91 + 12,88 = 23,79 \text{ м}^2$$



Проверка расчета

Определяем объем внутреннего воздуха вагона.

$$\ell = 0,01745 \cdot R \cdot d = 0,01745 \cdot 2,018 \cdot 94 = 3,309 \approx 3,31 \text{ м}$$

$$t_g \frac{\alpha}{2} = \frac{1,474}{1,38} = 1,068$$

$$\frac{\alpha}{2} = 46^{\circ} 53' \approx 47^{\circ}$$

$$\alpha = 94^{\circ}$$

$$F = \frac{1}{2} [z.l - c(z-h)] = \frac{1}{2} [2,018.531 - 2,948(2,018 - 0,638)] =$$

$$= \frac{1}{2} [6,679 - 4,068] = 1,305 \text{ м}^2$$

Объем верхней части вагона $V_1 = 1,305 \cdot 22,94 = 29,9 \text{ м}^3$

Объем всего воздуха в вагоне $V = V_1 + V_2$

Объем остальной части воздуха внутри вагона

$$V_2 = 22,94 \cdot 2,948 \cdot 2,225 = 152,5 \text{ м}^3$$

$$V = V_1 + V_2 = 29,9 + 152,5 = 182,4 \text{ м}^3$$

Для проверки расчета определяем отношение поверхности нагрева труб к объему вагона.

$$\frac{23,79}{182,4} = 0,135$$

Согласно транспортного „Хютте“, стр. 809, отношение нагревательной поверхности труб к внутреннему объему вагона может считаться достат. в пределах от 0,12 до 0,18. Следовательно, поверхность нагревательных приборов отопления 25 м. вагона в климатических условиях средней полосы, при толщине шевелиновой прослойки в 2,5 мм может считаться достат. точной.

Расчет поверхности нагрева котла жесткого пассажирского вагона длиной 25 м.

Расход тепла на отопление вагона с учетом 20% увеличения его, на потерю тепла от вентиляции $W = 18058 \text{ ед. тепла}$, где 18058 - потребное количество тепла;

1) Расход угля

$$P = \frac{18058}{0,65 \cdot 6000}, \text{ где } 0,65 - \text{к.п.д. толки}$$

6000 кал/кг - теплотворная способность / кг. угля

2) Площадь колосниковой решетки

$$F = \frac{4,27}{60} = 0,0715 \text{ м}^2, \text{ где } 4,27 - \text{расход угля в час}$$

60 - напряжение 1-го м²

3. Площадь сечения дымовой трубы

$$f = \frac{4,27}{1000\sqrt{2,3}} = 0,00282 \text{ м}^2, \text{ где } 2,3 \text{ высота дымовой трубы в м.}$$

4. Внутренний диаметр дымовой трубы

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2820}{3,14}} = \sqrt{3592} = 60 \text{ мм.}$$

5. Температура внутри топки при избытке воздуха = 15

$$t = \frac{6000}{0,84(1+16,2)} = 1453,$$

где 6000 - теплотворная способность топлива,
10,8 - теоретическое количество воздуха, потреб-
ное для сжигания 1 кг угля; тогда $10,8 \cdot 2 = 21,6$
0,84 - коэф. расширения воздуха.

6. Поверхность нагрева котла

$$F = \frac{2 \cdot 18058}{(1453 + 300)10} = 2,1 \text{ м}^2$$

1453 - t внутри топки
300 - температура
отход. газа
10 - коэффициент
теплоотдачи.

7. Ч нас котел имеет:

1) $0,368 \cdot 3,14 \cdot 1,2 = 1,39$ - топки

2) $0,368 \cdot 0,108 \cdot 2 \cdot 3,14 = 0,24$ - водотруб.

3) $\frac{0,368 + 0,152}{2} \cdot 0,239 \cdot 3,14 = 0,195$ - верха топки

4) $1,3 \cdot 0,152 \cdot 3,14 = 0,63$ - дымовой трубы

Всего поверхность нагрева 2,45 м²