

Аспекты разработки схем погрузки вагона в части поперечной устойчивости и прочности

Е.А. Исполова, А.И. Бондаренко, И.О. Морозова

Конструкторское бюро
ООО «Евросиб-Инжиниринг».
Санкт-Петербург. Россия

www.eurosib.biz

Докладчик:
Главный специалист по расчетам,
Е.А. Исполова





Введение

- **В настоящее время при разработке эксплуатационной документации на грузовые вагоны в обязательном порядке требуется приведение значений некоторых параметров, используемых в дальнейшем грузоотправителями для разработки местных технических условий размещения и крепления грузов (МТУ) в соответствии с «Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах № ЦМ-943» и Техническими условиями размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС).**
- **В связи с отсутствием методик для определения этих параметров, есть вероятность их некорректного определения. Это, в свою очередь, влечет за собой неправильный выбор схем погрузки. В частности, возникают случаи, когда при разработке МТУ, исключаются схемы погрузки, на которые вагон был спроектирован. Либо наоборот включаются схемы, непредусмотренные при проведении расчетов и испытаний вагона.**

Поперечная устойчивость вагона с грузом

- Поперечная устойчивость вагона с грузом обеспечивается, если удовлетворяется условие

$$\frac{P_{\text{ц}} + P_{\text{в}}}{P_{\text{ст}}} \leq 0,55$$

где $(P_{\text{ц}} + P_{\text{в}})$ – дополнительная вертикальная нагрузка на колесо от действия центробежных сил и ветровой нагрузки, тс;

$P_{\text{ст}}$ – статическая нагрузка от колеса на рельс, тс.

- Дополнительная вертикальная нагрузка на колесо от действия центробежных сил и ветровой нагрузки определяется по формуле

$$P_{\text{ц}} + P_{\text{в}} = \frac{1}{n_{\text{к}} S} \left[0,075 (Q_{\text{т}} + Q_{\text{гр}}^0) H_{\text{цт}}^0 + W_{\text{п}} \times h + 1000 p \right]$$

p – коэффициент, учитывающий ветровую нагрузку на кузов и тележки грузонесущих вагонов и поперечное смещение центра тяжести груза за счет деформации рессор;

Площадь наветренной поверхности и высота центра тяжести вагонов, значения коэффициентов р (данные из ЦМ-943 и Приложение 3 к СМГС)

Тип вагона	Площадь наветренной поверхности, кв. м	Высота ЦТ порожнего вагона от УГР, м	Значение коэффициентов р
Четырехосный полувагон:			
- с объемом кузова до 77 куб. м	34	1,13	5,61
- с объемом кузова 83 - 88 куб. м	37	1,13	5,61
Четырехосная платформа с базой 9720 мм:			
- с закрытыми бортами	13	0,8	3,34
- с открытыми бортами	7	0,8	3,34
Четырехосная платформа с базой 14400 мм:			
- с закрытыми бортами	16	0,8	4,11
- с открытыми бортами	11	0,8	4,11
Четырехосная платформа с базой 14720 мм	9	0,8	3,30
Крытый вагон	50-56	1,45	8,36

Сравнение методик расчета на опрокидывание

- Для сравнения из методики расчета по «Нормам...» и ГОСТ 33211-2014 было исключено влияние продольных сил из рассмотрения.

$$P_{\text{дин}} = \frac{F_K \cdot h_{\text{цк}} + 2 \cdot F_T \cdot h_{\text{цт}} + F_{\text{БК}} \cdot h_{\text{БК}} + 2 \cdot F_{\text{БТ}} \cdot h_{\text{БТ}} + G_K \cdot \Delta_K + 2 \cdot G_T \cdot \Delta_T}{2n \cdot S}$$

$$P_{\text{дин}} = P_{\text{ц}} + P_{\text{в}} = \frac{1}{n_K S} [0,075(Q_T + Q_{\text{гр}}^o)H_{\text{цт}}^o + W_{\text{п}} \times h + 1000p]$$

- Таким образом было получено выражение для коэффициента:

$$p = 0,001(F_{\text{ВПК}} \cdot h_{\text{ВПК}} + 2 \cdot F_{\text{БТ}} \cdot h_{\text{БТ}} + G_K \cdot \Delta_K + 2 \cdot G_T \cdot \Delta_T)$$

где $F_{\text{ВПК}}$, $F_{\text{БТ}}$ – силы давления ветра на порожний кузов и тележку;

$h_{\text{ВПК}}$, $h_{\text{БТ}}$ – высота от уровня головок рельсов до геометрического центра боковой проекций порожнего кузова и тележки;

G_K , G_T – силы тяжести груженного кузова и тележки;

Δ_K , Δ_T – суммарные, параллельные плоскости головок рельсов перемещения центров тяжести кузова и тележки относительно центрального положения продольной оси вагона;

Расчет и оценка коэффициента p

Вид вагона	Загрузка	Вклад от ветровой нагрузки	Вклад от нагрузки за счет смещения ЦТ	Расчетный коэффициент p	Табличный коэффициент p
Полувагон	Груженный	3,772	5,521	9,29	5,61
	Порожний		0,575	4,35	
Платформа	Груженная двумя груженными 20' контейнерами	0,815	6,079	6,89	3,30/3,34/4,11
	Груженная порожним 40' контейнером		0,642	1,46	
	Порожняя		0,281	1,10	
Крытый	Груженный	6,327	5,923	12,25	8,36
	Порожний		0,557	6,88	

Особенности методики расчета поперечной устойчивости груженого вагона в предыдущих версиях

Технические условия погрузки и крепления грузов. 1990г.

$$\frac{P_{\text{ц}} + P_{\text{в}}}{P_{\text{ст}}} \leq 0,5$$

Рассматривался пограничный случай поперечной устойчивости:

$$P_{\text{ц}} + P_{\text{в}} = 0,5P_{\text{ст}},$$

Расчет и оценка коэффициента ρ

Вид вагона	Загрузка	Расчетный коэффициент ρ	Табличный коэффициент ρ
Полувагон	Загрузка легковесным объемным грузом	5,616	5,61
Платформа	Загрузка одним порожним 40' контейнером	3,365	3,34
Крытый	Загрузка легковесным объемным грузом	8,217	8,36

Методика для определения коэффициентов для вновь проектируемых вагонов

- Коэффициент p для вновь проектируемых вагонов определяется по формуле:

$$p = \frac{1}{1000} [(Q_T + Q_{гр}^o)(0,5S - 0,075H_{цТ}^o) - W_{\Pi} \times h]$$

где $Q_{гр}^o$ – общая масса груза на вагоне при наихудшем расчетном случае по условию опрокидывания в соответствии с «Нормами...» и/или ГОСТ 33211-2014;

$H_{цТ}^o$ – высота общего центра тяжести вагона с грузом при наихудшем расчетном случае по условию опрокидывания в соответствии с «Нормами...» и ГОСТ 33211-2014;

W_{Π} – ветровая нагрузка, действующая на части груза, выступающие за пределы кузова вагона, тс, определялась по формуле

$$W_{\Pi} = 50S_{\Pi}/1000$$

где S_{Π} – площадь наветренной поверхности груза при наихудшем расчетном случае по условию опрокидывания в соответствии с «Нормами...» и ГОСТ 33211-2014, м².

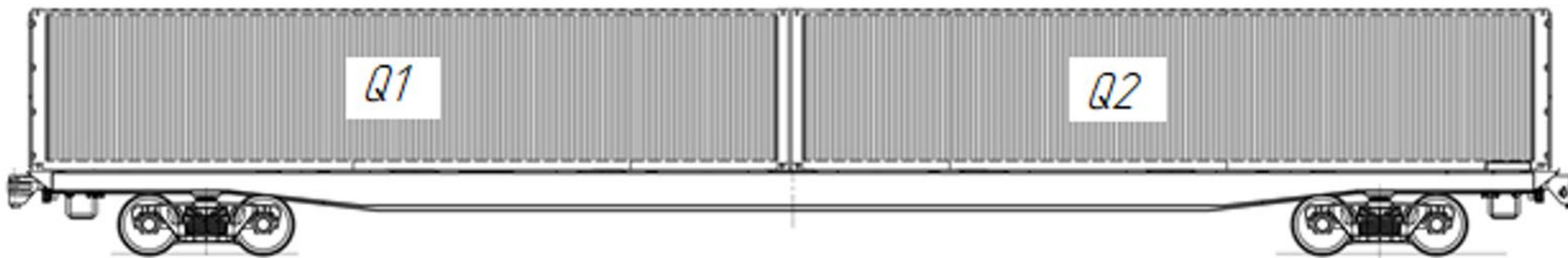
h – высота над уровнем головки рельса точки приложения ветровой нагрузки, мм.

Расчет коэффициента p для разных вагонов

Вид вагона	Загрузка	Масса тары, т Q^o_t	Общая масса груза на вагоне, т $Q^o_{гр}$	Высота общего центра тяжести вагона с грузом, мм $H^o_{цт}$	Площадь наветренной поверхности груза, m^2 S_n	Высота над уровнем головки рельса точки приложения ветровой нагрузки, мм h	p
Четырехосная платформа с погрузочной длиной 40'	Загрузка одним порожним 40' контейнером	21	4	1072	36	2500	3,365
Четырехосная платформа с погрузочной длиной 80'	Загрузка двумя порожними 40' контейнерами	23	8	1239	72	2500	0,365
Четырехосная платформа с погрузочной длиной 60'	Загрузка тремя порожними 20' контейнерами	21	6	1178	54	2500	1,530
Полувагон	Загрузка легковесным объемным грузом	23	4	1414	10,2	4300	5,616
Крытый вагон	Загрузка легковесным объемным грузом	26	4	1615	0	0	8,217

Пример неправильного выбора коэффициента p

Разработка МТУ для платформы с погрузочной длиной 80'



<i>Коэффициент, приведенный в РЭ</i>	<i>Коэффициент, рассчитанный по предложенной методике</i>
$p=4,9$	$p=0,365$

Пример неправильного выбора коэффициента р

		Масса брутто контейнера Q_2 , т																												
		30,48	30,0	29,0	28,0	27,0	26,0	25,0	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	Пер.
Масса брутто контейнера Q_1 , т	30,48	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30,0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22,0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21,0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18,0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Пер.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Коэффициент, рассчитанный по предложенной методике

		Масса брутто контейнера Q ₂ , т																											
		30,48	30,0	29,0	28,0	27,0	26,0	25,0	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	Пер.
Масса брутто контейнера Q ₁ , т	30,48	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30,0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22,0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21,0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	18,0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	+	+	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	14,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Пер.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

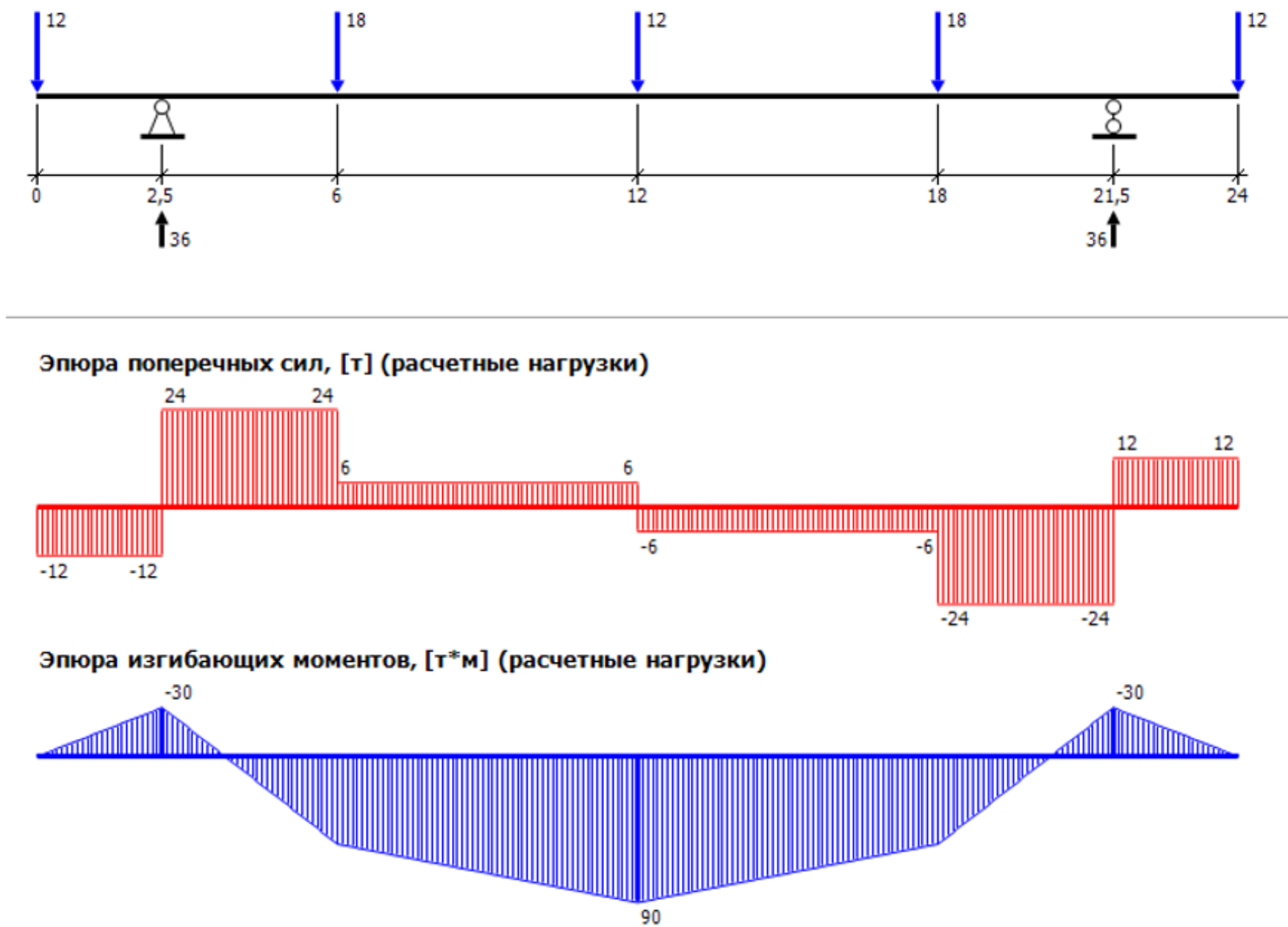
Оценка максимальных изгибающих моментов

- Прочность несущих элементов конструкции вагона обеспечивается, если удовлетворяется условие не превышения допустимых изгибающих моментов

Пример для платформы с погрузочной длиной 80'

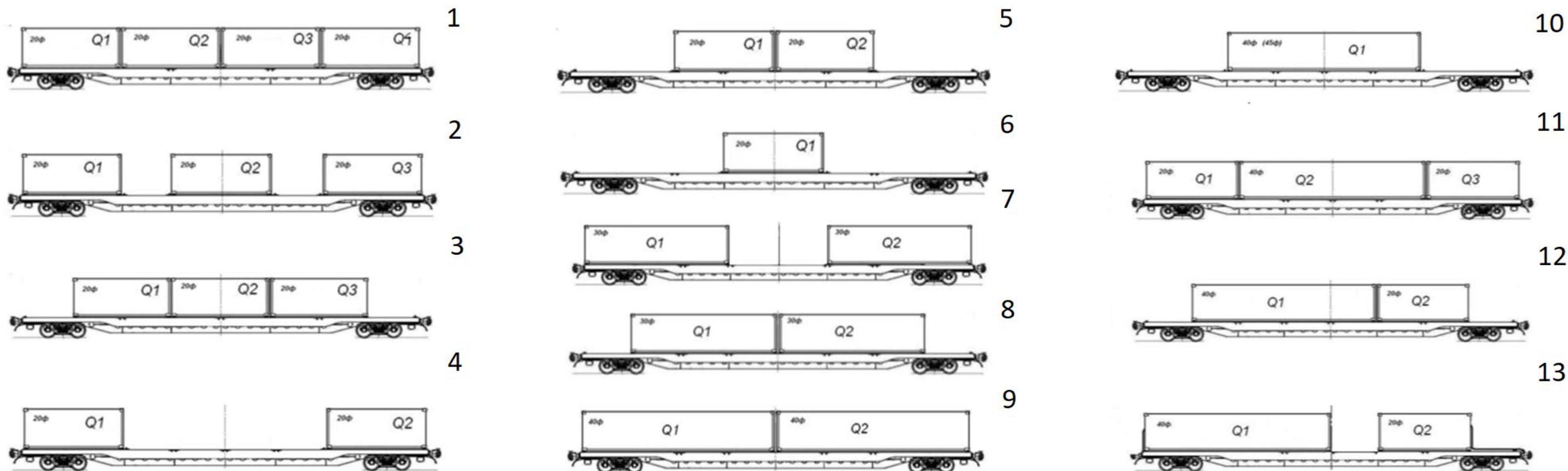


Сечение рамы	Максимальный расчетный изгибающий момент, тсм	Допускаемый изгибающий момент приведенный в РЭ, тс/м
Средняя часть рамы платформы	90	105
Консольная часть рамы платформы	30	40



Возможные схемы перевозки контейнеров

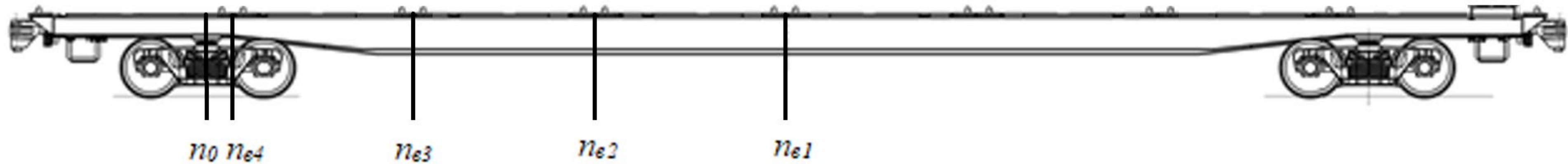
- Были проанализированы возможные в эксплуатации схемы перевозки контейнеров, приведенные в Технических условиях размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС) (далее - СМГС) для вагонов-платформ с погрузочной длиной 80'.



- В соответствии с «Дополнительными требованиями к расчетам, проектированию и испытаниям длиннобазных платформ (с базой более 17 м и длиной по осям сцепления не менее 23 м) к «Нормам...» схемы погрузки контейнеров местными условиями эксплуатации не должны допускать размещение в средней части платформ на тележках модели 18-100 двух или трех груженых 20 футовых контейнеров. В общем случае схемы 3 и 5 противоречат рекомендациям «Норм...».

Расчетная схема

В типовой методике «Вагоны-платформы увеличенной длины. Типовая методика испытаний на сопротивление усталости» предложены рекомендации для определения характерных сечений рамы вагона-платформы и установления максимальные изгибающие моменты для этих сечений.



Расстояние от нулевого сечения до внутреннего сечения №1, м	$n_{в1}$	9,5
Расстояние от нулевого сечения до внутреннего сечения №2, м	$n_{в2}$	6,5
Расстояние от нулевого сечения до внутреннего сечения №3, м	$n_{в3}$	3,5
Расстояние от нулевого сечения до внутреннего сечения №4, м	$n_{в4}$	0,5

Сочетания масс контейнеров

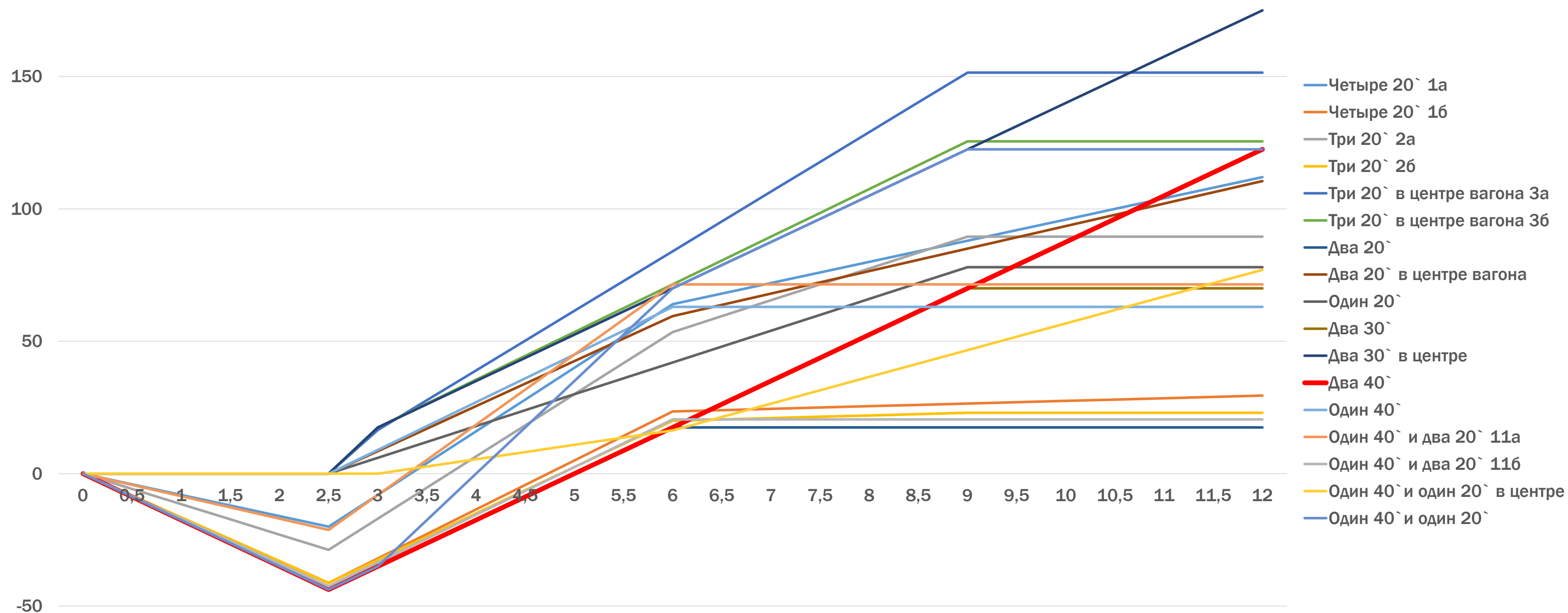
№ схемы	<i>Q1</i> , т	<i>Q2</i> , т	<i>Q3</i> , т	<i>Q4</i> , т	Общая масса груза на вагоне, <i>Q</i> , т
1а	16	16	16	16	64
1б	33	2	2	33	70
2а	23	24	23	-	70
2б	33	2	33	-	68
3а	21	24	21	-	66
3б	34	2	34	-	70
4	35	35	-	-	70
5	17	17	-	-	34
6	24	-	-	-	24
7	35	35	-	-	70
8	35	35	-	-	70
9	35	35	-	-	70
10	36	-	-	-	36
11а	17	36	17	-	70
11б	33	4	33	-	70
12	36	25	-	-	61
13	35	35	-	-	70

Расчет моментов

Виды контейнеров	№ схемы	Значение момента, тм, в сечении рамы				
		n_0	n_{B4}	n_{B3}	n_{B2}	n_{B1}
Четыре 20` контейнера	1а	-20	-8	64	88	112
	1б	-41,25	-32	23,5	26,5	29,5
Три 20`	2а	-28,75	-17	53,5	89,5	89,5
	2б	-41,25	-32,5	20	23	23
Три 20` в центре вагона	3а	0	16,5	84	151,5	151,5
	3б	0	17,5	71,5	125,5	125,5
Два 20`	4	-43,75	-35	17,5	17,5	17,5
Два 20` в центре вагона	5	0	8,5	59,5	85	110,5
Один 20`	6	0	6	42	78	78
Два 30`	7	-43,75	-35	17,5	70	70
Два 30` в центре	8	0	17,5	70	122,5	175
Два 40`	9	-43,75	-35	17,5	70	122,5
Один 40`	10	0	9	63	63	63
Один 40` и два 20`	11а	-21,25	-8	71,5	71,5	71,5
	11б	-42,5	-33,5	20,5	20,5	20,5
Один 40` и один 20` в центре	12	0	0	16,36	46,67	76,99
Один 40` и один 20`	13	-43,75	-35	70	122,5	122,5

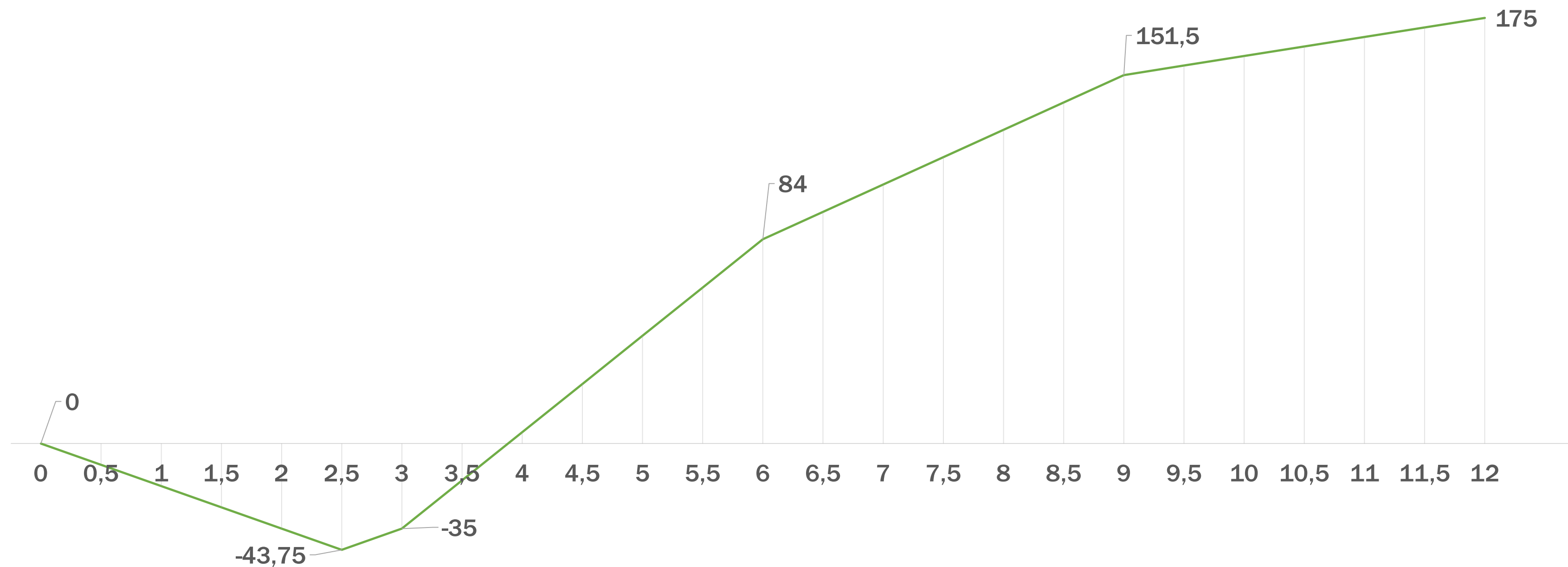
Расчет моментов

- Возможные в эксплуатации схемы согласно Техническим условиям размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС) нагружают центральное и промежуточные сечения рамы вагона сильнее, чем схема размещения двух 40' контейнера, которая обычно считалась наихудшей.



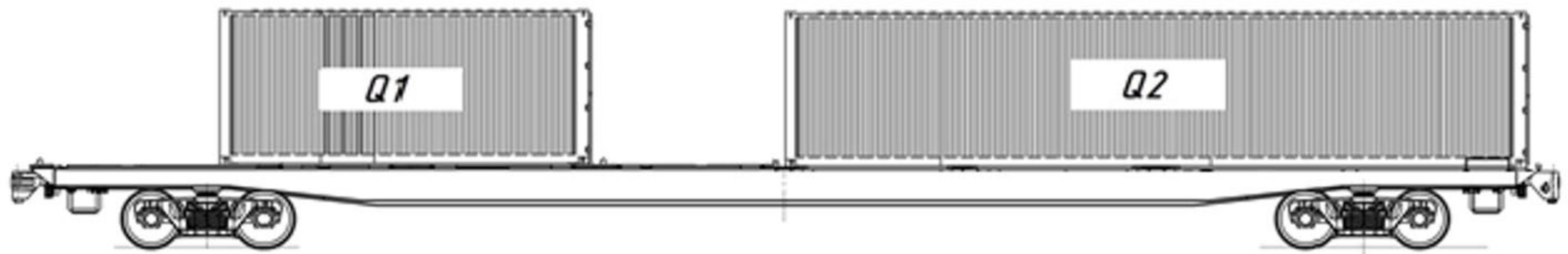
Максимальные значения моментов в характерных сечениях рамы вагона

Значение момента, тм, в сечении рамы				
n_0	n_{B4}	n_{B3}	n_{B2}	n_{B1}
-43,75	-35	84	151,5	175



Пример неправильного определения максимальных изгибающих моментов

Разработка МТУ для платформы с погрузочной длиной 80'



Пример неправильного определения максимально изгибающих моментов

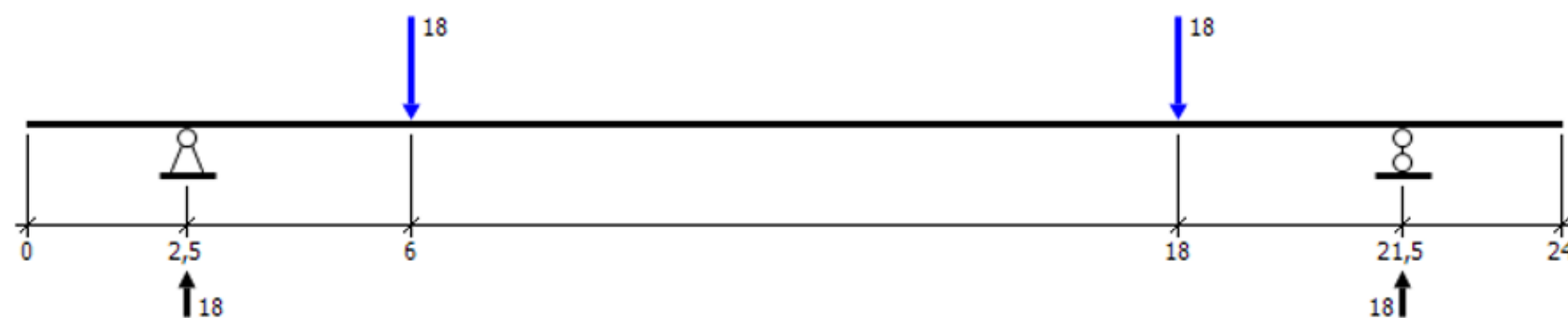
Без учет допускаемого момента в промежуточном сечении

		Масса брутто контейнера длиной 20 футов $Q_1, \text{т}$																					
		24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	Пер.
Масса брутто контейнера длиной 40 футов $Q_2, \text{т}$	30,48	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27,0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26,0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,0	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,0	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22,0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21,0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,0	0	0	0	+	+	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18,0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17,0	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	16,0	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	15,0	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	14,0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-	-	-
	13,0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-	-
	12,0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-	-
	11,0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-	-
	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-
	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-
	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-
	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	-
	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0
	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	Пос.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+

С учетом допускаемого момента в промежуточном сечении

		Масса брутто контейнера длиной 20 футов $Q_1, \text{т}$																					
		24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	Пер.
Масса брутто контейнера длиной 40 футов $Q_2, \text{т}$	30,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27,0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26,0	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,0	-	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,0	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22,0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21,0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,0	-	-	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18,0	-	-	0	0	0	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17,0	-	-	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	16,0	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	15,0	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-	-	-
	14,0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-	-
	13,0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-	-	-
	12,0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-
	11,0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-
	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	-
	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-
	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	-
	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0
	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0
	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
	Пер.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+

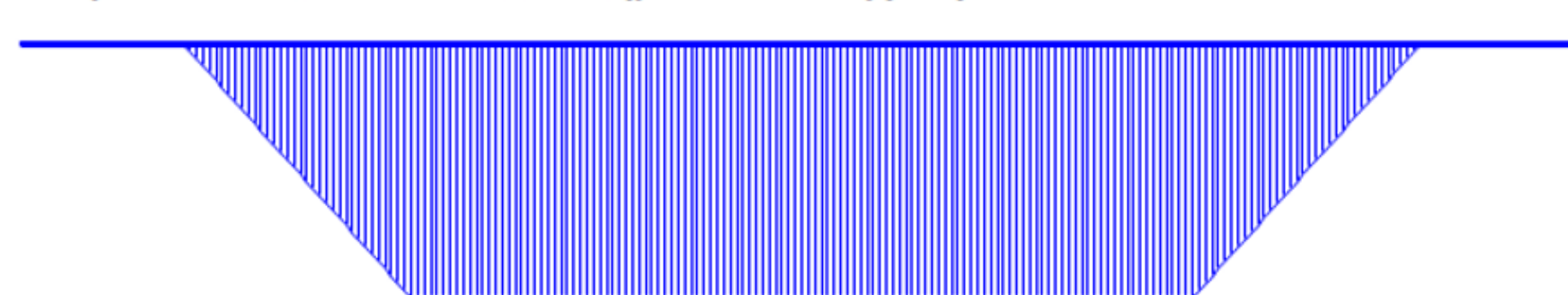
Пример разрушения рамы вагона-платформы



Эпюра поперечных сил, [т] (расчетные нагрузки)



Эпюра изгибающих моментов, [т*м] (расчетные нагрузки)





Заключение

- **В ходе работы рассматривались такие критерии, как поперечная устойчивость груженого вагона и условие прочности несущих элементов конструкции вагона.**
- **Предложенная методика для определения коэффициента p , а так же методика оценки максимальных изгибающих моментов от действия вертикальных сил для всех возможных схем перевозки груза позволяет получить параметры, которые рекомендуются для включения в Руководство по эксплуатации. Это обеспечит возможность разрабатывать схемы погрузки, которые бы максимально соответствовали расчетным характеристикам вагона.**
- **В будущем планируется продолжить исследования данной тематики, а также включить в рассмотрения другие критерии, используемые при разработки эксплуатационной документации.**



Спасибо за внимание

Аспекты разработки схем погрузки вагона в части поперечной устойчивости и прочности

Е.А. Исполова, А.И. Бондаренко, И.О. Морозова

ООО «Евросиб-Инжиниринг».
Санкт-Петербург. Россия

IspolovaEA@eurosib.biz