

СТАНДАРТ ОТРАСЛИ

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИСТОВЫХ РЕССОР
РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Научно-исследовательским институтом тепловозов и путевых машин (ВНИТИ) МПС России

ВНЕСЕН Управлением локомотивного хозяйства МПС России

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Указанием МПС России
от №

3 ВЗАМЕН РД 24.040.79-88

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения МПС России

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Общие положения.....	1
4 Исходные данные и расчетные параметры.....	2
5 Расчетная модель и порядок расчета.....	13
Приложение А Пример расчета листовой рессоры рессорного подвешивания тепловоза мощностью 2х2940 кВт.....	16
Приложение Б Примеры вариантов расчета на ПЭВМ листовой рессоры рессорного подвешивания тепловоза мощностью 2х2940 кВт.....	25

СТАНДАРТ ОТРАСЛИ

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИСТОВЫХ РЕССОР РЕССОРНОГО
ПОДВЕШИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ
ДОРОГ**

Дата введения 1997-01-01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает порядок выбора геометрических параметров и расчета упругодиссипативных свойств и прочности листовых рессор, применяемых в рессорном подвешивании тягового подвижного состава.

Методика, приведенная в настоящем стандарте, может применяться по согласованию между заказчиком и изготовителем при проведении расчетов листовых рессор, применяемых в рессорном подвешивании вагонов железных дорог.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:
ГОСТ 7419-90 Прокат стальной горячекатаный для рессор. Сортамент
ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.

3 Общие положения

При расчете листовых рессор, применяемых в рессорном подвешивании железнодорожного подвижного состава, учитывается влияние специфических конструктивных особенностей листовых рессор:

- наличие сил трения между листами снижает динамические прогибы и перераспределяет напряжения в листах в зависимости от условий нагружения;

- скачкообразное изменение момента инерции поперечного сечения сказывается на напряженном состоянии рессоры при ее динамическом нагружении;

- выбор величин радиусов изгиба листов и их длин влияет на прочностные и упругодиссипативные качества листовой рессоры.

В процессе эксплуатации листовые рессоры рессорного подвешивания подвержены воздействию в основном вертикальных циклических нагрузок, изменяющихся по асимметричному циклу. Эта нагрузка складывается из постоянной составляющей от веса надрессорного строения экипажа и динамической, возникающей от вертикальных колебаний экипажа.

4 Исходные данные и расчетные параметры

4.1 Исходные данные для расчета, формулы расчетных параметров и рекомендации по выбору величин параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Формула и рекомендации по выбору величин
1	2	3

1 Расчетные нагрузки

1.1 Статическая нагрузка, кН P Для локомотивов назначается по весу надрессорного строения с полным запасом топлива и песка. Допускается считать по служебному весу локомотива.

1.2 Расчетная статическая нагрузка на половину рессоры, кН P_c $P_c = \frac{P}{2}$

1.3 Переменная динамическая составляющая нагрузки, кН P_a $P_a = 0,1 \cdot P_c \dots K_d \cdot P_c$ (1)

1.4 Максимальная динамическая составляющая нагрузки, кН $P_{a \max}$ $P_{a \max} = K_d \cdot P_c$ (2)

1.5 Максимальная расчетная нагрузка, кН P_M $P_M = P_c \left(1 + \frac{P_n(k/s)}{P_c} + \frac{2 \cdot y_a}{f_c} \right)$ (3)

Продолжение таблицы 1

1	2	3
1.6 Пробная нагрузка на рессору, кН	P_r	$P'_r = 2 P_m$ (4)
1.7 Сила взаимодействия листов коренной и ступенчатой части рессоры при затяжке хомута. Напор, кН	$P_n(k/s)$	Ограничивается минимально допустимым значением, обеспечивающим включение в работу всех листов рессоры $P_n(k/s) \leq 0,1 \cdot P_c$
1.8 Нагрузка на поверхностях трения между листами рессоры, кН	P_T	$P_T = P_c + P_n(k/s)$ (5) При расчете принимается $P_T = P_c$
1.9 Нагрузка, действующая на отдельные листы рессоры, кН	P_i	$P_i = \frac{y_1(x_i) \cdot E \cdot I_1 \cdot n_i^3}{10 \cdot \ell_1^3 \left\{ 0,5 n_i^2 - [n_i - \ell n(n_i + 1)] \right\}} \quad (6)$ где i - номер листа рессоры, начиная с верхнего коренного листа. Верхний коренной лист $i = 1$ нижний лист ступенчатой части $i = m + n$ $n_i = n - 1$ - для верхнего листа ступенчатой части; $n_{i-1} = n_i - 1$ - для последующих листов ступенчатой части. Для нижнего листа ступенчатой части $P_{m+n} = \frac{3 \cdot y_{m+n} \cdot E \cdot I_1}{10 \cdot \ell_{m+n}^3}$
2 Геометрические параметры листовой рессоры		
2.1 Количество листов	n_0	$n_0 = m + n = \frac{10 \cdot P_m \cdot (\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot [\sigma]_p} \quad (7)$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
		Целесообразно уменьшить полученное значение n_0 на единицу. При превышении допустимой величины максимальных напряжений $\sigma_{i \max}$ в листах, n_p принимается расчетным
2.2 Количество листов коренной части	m	Принимается $m = 1 \dots 3$ Уменьшение количества коренных листов уменьшает массу рессоры
2.3 Количество листов ступенчатой части	n	$n = n_0 - m$
2.4 Расстояние между точками приложений нагрузок P_c на рессору, см	L_0	Назначается по компоновочным параметрам рессорного подвешивания.
2.5 Расстояние от плоскости середины хомута до точки приложения нагрузки P_c , см	ℓ	$\ell = \frac{L_0}{2}$
2.6 Расстояние от конца i -го листа до середины плоскости хомута, см	ℓ_i	$\ell_i = \ell_{i-1} + \Delta\ell$ При $i = n_p$, $\ell_i = 0,5a + \Delta\ell$ (8)
2.7 Длина верхнего листа ступенчатой части, см	$\ell(k/s)$	При $m > 1$ $\ell(k/s) = \ell - \frac{(m+1) \cdot \Delta\ell}{2}$ (9)
2.8 Шаг удлинения листов, см	$\Delta\ell$	$\Delta\ell = \ell_i - \ell_{i+1}$; $\Delta\ell = \frac{\ell - 0,5a}{n_p}$ (10)

Продолжение таблицы 1

1	2	3
2.9 Ширина хомута, см	a	Рекомендуется назначать $a = b$
2.10 Ширина листа, см	b	Выбирается из условий компоновки рессоры по сортаментам рессорных сталей, например ГОСТ 7419
2.11 Толщина листа, см	h	Выбирается по сортаментам рессорных сталей
2.12 Радиус рессоры в собранном состоянии, см	R_0	Из условия отсутствия обратного выгиба рессоры под действием внешней нагрузки рекомендуется величину определять по формуле $R_0 \approx \frac{I_0^2}{8 \cdot (f_c + 2 \cdot y_s)} \quad (11)$
2.13 Радиус изгиба коренных листов, см	R_k	$R_k = \frac{R_0}{1 - \frac{10 \cdot R_0 \cdot P_{n(k/s)} \cdot \ell(k/s)}{m \cdot E \cdot I_1}} \quad (12)$ где E - модуль упругости; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа
2.14 Радиус изгиба листов ступенчатой части, см	R_s	$R_s = \frac{R_0}{1 + \frac{10 \cdot R_0 \cdot P_{n(k/s)} \cdot \ell(k/s)}{(n-1) \cdot E \cdot I_1} \left(1 + \frac{\Delta n}{n-1} \right)} \quad (13)$
2.15 Максимальная среднестатистическая амплитуда колебаний листовой рессоры, см	y_a	Принимается по данным расчетов и экспериментальных исследований. При проектировании перспективных локомотивов величину $2y_a$ можно принимать равной 3-4 см

Продолжение таблицы 1

1	2	3
---	---	---

2.16 Динамический прогиб
рессоры в точке при-
ложения нагрузки, см

$$y_a(0) = \frac{10P_a \cdot \ell^3}{E \cdot I_1 \cdot n^3} \left[\frac{n^2}{2} \left(1 - 2\mu \frac{P_T \cdot h}{P_a \cdot \ell} \right) - m \left(n - m \cdot \frac{n_p}{m} \right) \right] \quad (14)$$

2.17 Прогиб рессоры в се-
чении конца i-го ли-
ста, см

$$y_i(x) = \frac{10P_c}{E \cdot I_1} \left\{ \begin{aligned} & \frac{x_1^2 \cdot \ell}{2n} - \frac{x_1 \cdot \ell^2}{n^2} m \cdot \ell n n_p + \frac{m \cdot \ell^3}{n^3} \cdot \\ & \left[n_p \left(\ell n n_p - 1 \right) - \left(n_p - \frac{n}{\ell} x_1 \right) \cdot \right. \\ & \left. \cdot \left[\ell n \left(n_p - \frac{x_1 \cdot n}{\ell} \right) - 1 \right] \right] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для последнего нижнего листа
ступенчатой части

$$y_{m+n} = \frac{10 \cdot P_{m+n} \cdot \ell^3}{3EI_1}$$

2.18 Расстояние от плоско-
сти хомута до точки
передачи усилия от
i-1 листа i-му ли-
сту, см

 X_i
 $X_i = \ell_i$

2.19 Статический прогиб
листовой рессоры
без учета сил тре-
ния, см

 f_c

Доля прогиба листовых рессор
от общего прогиба рессорно-
го подвешивания определяется
при динамическом расчете эки-
пажа

$$f_c = y(\ell) = \frac{10 \cdot P_c \cdot \ell^3}{EI_1 n^3} \left[0,5n^2 - m \left(n - m \cdot \frac{n_p}{m} \right) \right] \quad (16)$$

В случае использования специаль-
ных непрямоугольных листов мо-
гут быть использованы формулы,
рекомендованные в справочной
литературе

Продолжение таблицы 1

1	2	3
2.20 Диапазон разброса статического прогиба при учете сил трения, см	Δf_c	$\Delta f_c = (K_{дп}^c - 1) \cdot f_c$ (17)
2.21 Расчетный чертежный статический прогиб рессоры, см	f_{cp}	$f_{cp} = f_c \pm \Delta f_c$ (18)
2.22 Момент инерции сечения листа, см ⁴	I_1	Для прямоугольного сечения $I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}$
2.23 Момент сопротивления сечения листа, см ³	W_1	Для прямоугольного сечения $W_1 = \frac{b \cdot h^2}{6}$
3 Расчетные коэффициенты		
3.1 Коэффициент динамики рессоры	K_d	При выборе K_d учитываются результаты динамических испытаний аналогичных экипажей. Для магистральных локомотивов при одноступенчатом подвешивании со статическим прогибом около 10 см величину K_d следует принимать равной $K_d = 0,3$. Для первой ступени двухступенчатого рессорного подвешивания $K_d = 0,25$
3.2 Коэффициент динамичности прогибов	$K_{дп}$	$K_{дп} = \frac{0,5n^2 - n \left(n - m \cdot \ell_n \frac{n_P}{m} \right)}{0,5n^2 \left(1 - 2\mu \frac{P_T \cdot h}{P_a \cdot \ell} \right) - n \left(n - m \cdot \ell_n \frac{n_P}{m} \right)}$ или $K_{дп} = \frac{f_c}{y_a(\ell)}$ (19) При статическом нагружении $P_c = P_a$ и $K_{дп} = K_{дп}^c$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
---	---	---

3.3 Коэффициент дина-
мичности напряжений

К_{дн}

$$K_{дн} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} = \frac{P_a}{P_e} \left[1 - \frac{\mu \cdot P_T \cdot h \left(n_P - \frac{n \cdot a}{2\ell} \right)}{P_a (\ell - 0,5a)} \right] \quad (20)$$

При статическом нагружении $P_e = P_a$ и
 $K_{дн} = K_{дн}^e$

3.4 Коэффициент трения
между листами рессоры

μ

$\mu = 0,2 \dots 0,4$. При статическом нагруже-
нии $\mu = 0,4$. При определении К_{дн} и К_{дп}
величину μ принимать в интервале от 0,1
до 0,8

3.5 Коэффициент учета
доли напряжений из-
гиба, воспринимаемых
каждым листом рес-
соры

К_и

$$K_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_n} \quad (21)$$

3.6 Коэффициент снижения
уровня максимальных
рабочих напряжений

К_р

Учитывает влияние хомута, контакт-
ных напряжений, фреттинг-коррозии,
состояние поверхности листов. Рекомен-
дуется принимать $K_r = 0,83 \dots 0,86$.
Дробеструйная обработка $K_r = 0,86$
Черная поверхность $K_r = 0,83$

3.7 Коэффициент снижения
уровня амплитуды дина-
мических напряжений,
вызванных изменением
площади поперечного
сечения рессоры

К_{са}

$K_{са} = 1$ - для листов ступенчатой части,
выполненных без скосов, $K_{са} = 0,4-0,6$ -
при наличии скосов.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
---	---	---

4 Жесткость рессоры

4.1 Статическая жесткость идеальной рессоры без учета сил трения, кН/см	Ж _{си}	$Ж_{си} = \frac{P_1}{f_c}$	(22)
---	-----------------	----------------------------	------

4.2 Статическая жесткость листовой рессоры, кН/см	Ж _с	$Ж_{с} = \frac{P}{f_c + \Delta f_c}$	(23)
---	----------------	--------------------------------------	------

4.3 Динамическая жесткость листовой рессоры, кН/см	Ж _д	$Ж_{д} = K_{дп} \cdot Ж_{с}$	(24)
--	----------------	------------------------------	------

5 Расчетные напряжения

5.1 Усредненное напряжение изгиба в листах идеальной рессоры у края хомута, МПа	$\sigma_{л}$	$\sigma_{л} = \frac{10P_c \cdot (\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot n_p}$	(25)
---	--------------	--	------

5.2 Статическое напряжение в сечении у края хомута, МПа	σ_c	$\sigma_c = \frac{10P_c \cdot (\ell - 0,5a)}{W_1 \left(n_p - \frac{n \cdot a}{2\ell} \right)}$	(26)
---	------------	---	------

5.3 Расчетные статические напряжения у края хомута, МПа	$\sigma_{с\text{ расч}}$	$\sigma_{с\text{ расч}} = K_{дн}^c \cdot \sigma_{л}$	(27)
---	--------------------------	--	------

Продолжение таблицы 1

1	2	3
5.4 Максимальная амплитуда напряжений в сечении у края хомута, МПа	σ_a	$\sigma_a = K_{дн} \cdot \sigma_{с\text{ расч}}$ $\sigma_a = \frac{10 P_a (\ell - 0,5a)}{W_1 \left(n_p - \frac{n \cdot a}{2\ell} \right)} \left[1 - \frac{\mu \cdot P_T \cdot n \left(n_p - \frac{n \cdot a}{2\ell} \right)}{P_a (\ell - 0,5a)} \right] \quad (28)$
5.5 Амплитуда динамических напряжений в сечении у края хомута, вызванных скачкообразным изменением площади поперечного сечения рессоры, МПа	σ_{ca}	$\sigma_{ca} = \frac{10 P_c \cdot (\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot n_p^2} \quad (29)$
5.6 Статические напряжения в коренных листах рессоры, МПа	σ_{ik}	$\sigma_{ik} = \frac{10 \left[P_c (\ell - 0,5a) - P_{n(k/s)} \cdot \ell_{(k/s)} \right]}{m \cdot W_1} \quad (30)$ Для коренных листов допускается использовать метод равной кривизны $\sigma_{ik} = \frac{10 P_c (\ell - 0,5a)}{n_p \cdot W_1}$
5.7 Статические напряжения в i-м листе ступенчатой части, МПа	σ_{is}	$\sigma_{is} = \frac{10 \left[P_i (\ell_i - 0,5a) - P_{i+1} (\ell_{i+1} - 0,5a) \right]}{W_1} \quad (31)$ Расчетные напряжения в i-м листе $\sigma_{ci} = K_i \cdot \sigma_{с\text{ расч}}$
5.8 Амплитуда динамических напряжений в i-м листе рессоры, МПа	σ_{ai}	$\sigma_{ai} = K_i \cdot \sigma_a \quad (32)$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
5.9 Амплитуда динамических напряжений от скачкообразного изменения площади поперечного сечения рессоры в i-м листе ступенчатой части, МПа	σ_{cai}	$\sigma_{cai} = \frac{10P_i(\ell_i - 0,5a)}{W_1 \cdot (n_p - i + 1)^2} \quad (33)$ Для коренных листов - формула (29). В нижнем листе ступенчатой части $\sigma_{cai} = 0$
5.10 Амплитуда динамических напряжений от скачкообразного изменения площади поперечного сечения рессоры в i-м листе ступенчатой части при изготовлении листов со скосами концов(рессоры с оттянутыми концами), МПа	σ_{cai}^f	$\sigma_{cai}^f = K_{ca} \cdot \sigma_{cai} \quad (34)$
5.11 Предварительные напряжения в коренных листах рессоры, МПа	σ_{nk}	$\sigma_{nk} = \frac{10E \cdot I_1}{W_1} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_k} \right) \quad (35)$
5.12 Предварительные напряжения в листах ступенчатой части рессоры, МПа	σ_{ns}	$\sigma_{ns} = \frac{10P_{n(k/s)}(\ell_{(k/s)} - 0,5a)}{W_1 \cdot h} \quad (36)$
5.13 Предварительные напряжения в i-м листе рессоры, МПа	σ_{ni}	Для коренных листов $\sigma_{ni} = K_i \cdot \sigma_{nk} \quad (37)$ Для листов ступенчатой части $\sigma_{ni} = K_i \cdot \sigma_{ns} \quad (38)$

Окончание таблицы 1

1	2	3
5.14 Максимальная величина напряжений в i-м листе рессоры, МПа	$\sigma_{i \max}$	$\sigma_{i \max} = \sigma_{ci} + \sigma_{ai} + \sigma_{cai} + (\pm \sigma_{ni}) \quad (39)$ Для коренных листов минус σ_{ni} Для листов ступенчатой части плюс σ_{ni}
5.15 Минимальная величина напряжений в i-м листе рессоры, МПа	$\sigma_{i \min}$	$\sigma_{i \min} = \sigma_{ci} - \sigma_{ai} - \sigma_{cai} + (\pm \sigma_{ni}) \quad (40)$
5.16 Допускаемые напряжения, МПа	$[\sigma]$	Для сталей марок 55С2, 60С2, 60С2А, ГОСТ 14959-79 $[\sigma] = 1000 \text{ МПа}$
5.17 Рекомендуемая величина допускаемых напряжений от статической нагрузки	$[\sigma]_c$	$[\sigma]_c = 600 \text{ МПа}$
5.18 Допускаемая величина максимальных рабочих напряжений в листах рессоры, МПа	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p = K_p \cdot [\sigma] \quad (41)$

5 Расчетная модель и порядок расчета

5.1 В качестве расчетной модели листовой рессоры принимается консольная, набранная из p_r листов балка, содержащая m листов коренных и подкоренных и n листов ступенчатой части шириной b и толщиной h , заземленных хомутом шириной a (рисунок 1). На балку в плоскости нагружения действует сила P_c , приложенная на расстоянии l от плоскости середины хомута.

5.2 При условии отсутствия сил трения между листами рессоры из уравнения изгиба упругой линии идеальной рессоры с листами прямоуголь-

ного сечения получены формулы (16) и (26) для расчета наибольшего статического прогиба f_c в плоскости приложения усилия P_c и напряжения σ_c в сечении у края хомута

5.3 Формулы (14) и (28) получены при следующих допущениях: функция изгибающего момента пропорциональна амплитуде P_a и частоте динамического усилия, прикладываемого в плоскости нагружения; функция моментов сопротивления колебаниям рессоры пропорциональна статическим силам трения $\mu \cdot P_t$.

5.4 Снижение динамических прогибов и напряжений по сравнению со статическими оценивается коэффициентами динамичности прогибов и напряжений по формулам (19) и (20).

Эти коэффициенты позволяют определить динамическую жесткость и амплитуду динамических напряжений для различных условий динамического нагружения.

5.5 Особенностью листовых рессор локомотивов является то, что концы листов не подвергаются косой обрезке или высадке. Это приводит к возникновению дополнительных напряжений, суммирующихся с амплитудами напряжений от динамической нагрузки. Эти напряжения могут быть рассчитаны по формулам (29), (32) и (33).

5.6 Расчет напряжений в отдельных листах листовой рессоры в соответствии с расчетной моделью производится в следующей последовательности.

5.6.1 Рассчитываются прогибы листовой рессоры в сечениях, где оканчиваются листы ступенчатой части, с использованием формулы (15).

5.6.2 По формуле (6) рассчитывают усилия, действующие на отдельные листы рессоры.

5.6.3 По формулам (30) и (31) определяются напряжения в отдельных листах рессоры.

5.6.4 По формулам (29) и (33) определяются напряжения, вызванные скачкообразным изменением сечения листовой рессоры в отдельных листах.

5.6.5 Амплитуды динамических напряжений в отдельных листах рессоры рассчитываются по формулам (28) и (32).

5.6.6 Предварительные напряжения в листах определяются согласно рекомендациям 1.7 таблицы 1 по формулам (35), (38).

5.6.7 По формулам (39), (40) определяют суммарные максимальные и минимальные напряжения в отдельных листах.

5.7 Рациональные радиусы изгиба листов ступенчатой и коренной части рессоры определяются по формулам (12), (13) из условия 2.12 таблицы 1.

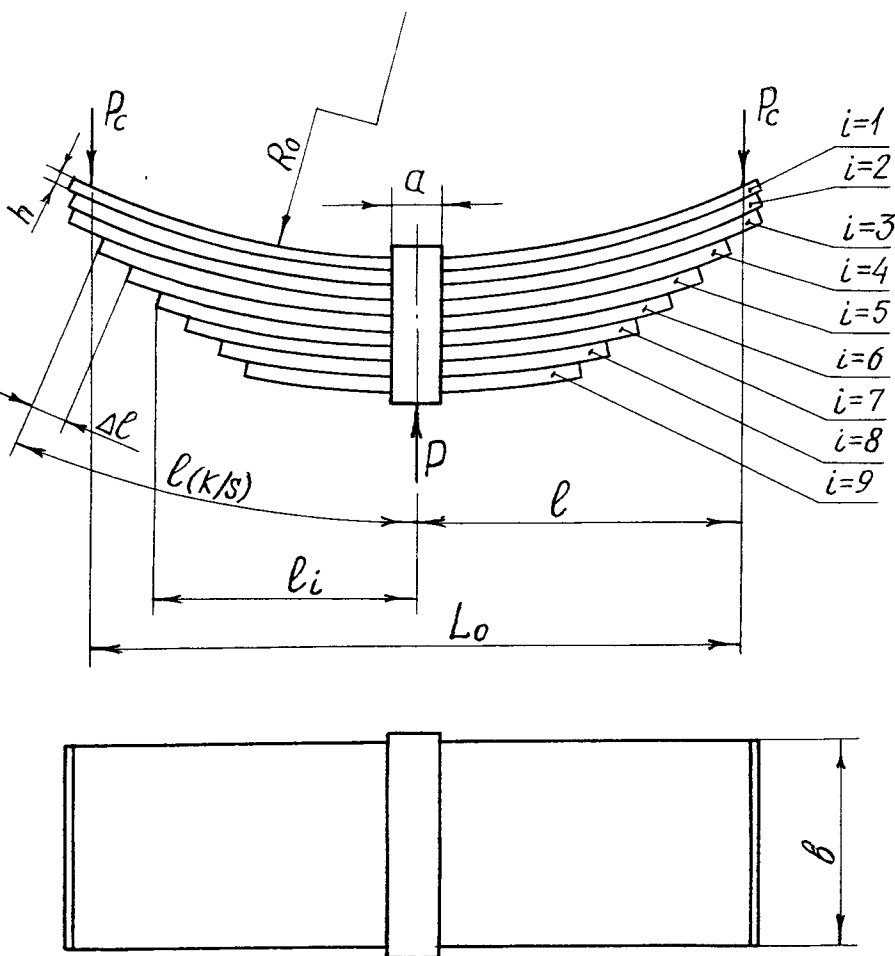


Рисунок 1 - Расчетная модель листовой рессоры

5.8 Допускаемые напряжения в отдельных листах определяются по формуле (41) с учетом рекомендаций 5.16 и 5.17 таблицы 1.

5.9 Пример расчета листовой рессоры тепловоза ТЭ121 приведен в приложении А.

5.10 Примеры вариантов расчета на ПЭВМ листовой рессоры тепловоза ТЭ 121 приведены в приложении Б.

Приложение А
(информационное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ РЕССОРНОГО
ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕПЛОВОЗА МОЩНОСТЬЮ 2х2940 кВт

А.1 Исходные данные:

А.1.1 Статическая нагрузка

$$P_1 = 108 \text{ кН}$$

А.1.1.1 Расчетная статическая нагрузка

$$P_c = 0,5P_1 = 54 \text{ кН}$$

А.1.2 Максимальная динамическая составляющая нагрузки

$$P_{a \max} = K_d P_c = 0,3 \cdot 54 = 16,2 \text{ кН}$$

А.1.3 Расстояние между точками приложения нагрузок P_c на рессору

$$L_o = 109,4 \text{ см}$$

А.1.4 Расстояние от плоскости середины хомута до точки приложения нагрузки

$$\ell = 0,5 L_o = 54,7 \text{ см}$$

А.1.5 Проектный прогиб под статической нагрузкой

$$f_c = 4,8 \text{ см}$$

А.1.6 Максимальная амплитуда колебаний

$$2 y_a = 3 \text{ см}; y_a = 1,5 \text{ см}$$

А.1.7 По сортаменту сталей для рессорных листов принято:
ширина листа $b = 12 \text{ см}$; толщина листа $h = 1,6 \text{ см}$.

А.1.8 Материал листов - сталь 60С2А ГОСТ 14959.

$$\text{Модуль упругости } E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$\text{Допускаемые напряжения } [\sigma] = 1000 \text{ МПа.}$$

А.1.9 Напряжения от статической нагрузки $[\sigma]_c = 600 \text{ МПа}$

А.2 Предварительный выбор параметров рессоры.

А.2.1 Максимальная расчетная нагрузка на половину рессоры

$$P_m = P_c \left(1 + \frac{P_n(k/s)}{P_c} + \frac{2y_a}{f_c} \right)$$

$$\text{Принимаем } P_n(k/s) = 0,05 P_c$$

$$P_n(k/s) = 0,05 \cdot 54 = 2,7 \text{ кН};$$

$$P_m = 54 \left(1 + 0,05 + \frac{3}{4,8} \right) = 90,45 \text{ кН}$$

А.2.2 Пробная нагрузка

$$P_{\frac{1}{3}} = 2P_m = 2 \cdot 90,45 = 180,9 \text{ кН}$$

А.2.3 Количество листов

$$n_P = \frac{10P_m(\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot [\sigma]_P};$$

$$W_1 = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{12 \cdot 1,6^2}{6} = 5,12 \text{ см}^3; a = b = 12 \text{ см};$$

$$[\sigma]_P = K_P \cdot [\sigma].$$

В соответствии с рекомендациями 3.6 таблицы 1 принимаем $K_P = 0,84$; тогда $[\sigma]_P = 0,84 \cdot 1000 = 840 \text{ Мпа}$.

$$n_P = \frac{10 \cdot 90,45 \cdot (54,7 - 0,5 \cdot 12)}{5,12 \cdot 840} = 10,3$$

Уменьшаем полученную величину n_P на единицу и принимаем ее равной $n_P = 9$. Назначаем $m=3$, $n=6$.

А.2.4 Шаг удлинения листов

$$\Delta \ell = \frac{\ell - 0,5a}{n_P} = \frac{54,7 - 6}{9} = 5,42 \text{ см}$$

Округляем $\Delta \ell$ до 5,5 см.

А.2.5 Длины листов ступенчатой части:

$$\ell_4 = \ell_{(k/s)} = \ell - \frac{(m+1) \cdot \Delta \ell}{2} = 54,7 - 11 \approx 43 \text{ см}$$

$$\ell_5 = 0,5a + 5\Delta \ell = 6 + 27,5 = 33,5 \text{ см};$$

$$\ell_6 = 0,5a + 4\Delta \ell = 6 + 22 = 28 \text{ см};$$

$$\ell_7 = 0,5a + 3\Delta \ell = 6 + 16,5 = 22,5 \text{ см};$$

$$\ell_8 = 0,5a + 2\Delta \ell = 6 + 11 = 17 \text{ см};$$

$$\ell_9 = 0,5a + \Delta \ell = 6 + 5,5 = 11,5 \text{ см};$$

А.2.6 Действительный статический прогиб без учета сил трения

$$f_c = \frac{10 \cdot P_c \cdot \ell^3}{EI_1 \cdot n^3} \left[0,5n^2 - m \left(n - m \cdot \ell n \frac{n_P}{m} \right) \right];$$

$$I_1 = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 1,6^3}{12} = 4,1 \text{ см}^4;$$

$$f_c = \frac{10 \cdot 54 \cdot 54,7^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1 \cdot 6^3} \left[0,5 \cdot 6^2 - 3 \left(6 - 3 \cdot \ell n \frac{9}{3} \right) \right] = 4,65 \text{ см}.$$

А.2.7 Коэффициент динамичности прогибов

$$K_{дп} = \frac{0,5n^2 - m \left(n - m \cdot \frac{n_P}{m} \right)}{0,5n^2 \left(1 - 2\mu \cdot P_T \frac{h}{P_a \cdot \ell} \right) - m \cdot \left(n - m \cdot \frac{n_P}{m} \right)};$$

$$K_{дп} = \frac{0,5 \cdot 6^2 - 3 \left(6 - 3 \cdot \frac{9}{3} \right)}{0,5 \cdot 6^2 \left(1 - 2\mu \cdot \frac{P_T \cdot 1,6}{P_a \cdot 54,7} \right) - 3 \cdot \left(6 - 3 \cdot \frac{9}{3} \right)} = \frac{9,9}{9,9 - \frac{1,053\mu \cdot P_T}{P_a}};$$

Результаты расчета величины $K_{дп}$ для различных значений μ , P_T/P_a сводим в таблицу А.1

Таблица А.1

Коэффициенты динамичности	μ	Отношение P_T/P_a , P_C/P_a					
		9	8	6	4	2	1
$K_{дп}$	0,1	1,1062	1,0933	1,0684	1,0446	1,0218	1,0108
	0,2	1,2377	1,2058	1,1468	1,0933	1,0446	1,0218
	0,3	1,4083	1,3440	1,2377	1,1468	1,0684	1,0331
	0,4	1,6235	1,5182	1,3440	1,2058	1,0933	1,0446
	0,5	1,9233	1,7440	1,4707	1,2712	1,1194	1,0563
	0,6	2,3585	2,0496	1,6297	1,3453	1,1468	1,0684
	0,7	3,0461	2,4821	1,8111	1,4256	1,1755	1,0807
	0,8	4,3115	3,1532	2,0499	1,5171	1,2058	1,0933
$K_{дп}$	0,1	0,0833	0,0976	0,1390	0,2227	0,4723	0,9730
	0,2	0,0564	0,7020	0,1120	0,1949	0,4457	0,9457
	0,3	0,0290	0,0428	0,0839	0,1678	0,4183	0,9189
	0,4	0,0017	0,0156	0,0570	0,1409	0,3902	0,8912
	0,5	-0,2589	-0,0120	0,0297	0,1130	0,3630	0,8630
	0,6	-0,5333	-0,0349	0,0027	0,0860	0,3360	0,8360
	0,7	-0,8068	-0,0661	-0,0252	0,0582	0,3082	0,8082
	0,8	-1,0817	-0,0943	-0,0527	0,0307	0,2807	0,7007

А.2.8 Коэффициент динамичности напряжений

$$K_{дн} = \frac{P_a}{P_c} \left[1 - \frac{\mu \cdot P_T \cdot h \left(n_p - \frac{n \cdot a}{2\ell} \right)}{P_a (\ell - 0,5a)} \right];$$

$$K_{дн} = \frac{P_a}{P_c} \left[1 - \frac{\mu \cdot P_T \cdot 1,6 \left(9 - \frac{6 \cdot 12}{2 \cdot 54,7} \right)}{P_a (54,7 - 0,5 \cdot 12)} \right] = \frac{P_a}{P_c} \left[1 - 0,275 \frac{\mu \cdot P_T}{P_a} \right];$$

Результаты расчета величин $K_{дн}$ для различных значений μ и P_T/P_a и P_c/P_a также сводим в таблицу А.1

А.2.9 Диапазон разброса статического прогиба при учете сил трения

$$\Delta f_c = \pm (K_{дн}^c - 1) \cdot f_c;$$

при $\mu = 0,4$ и $P_c/P_a = 1$

$$K_{дн}^c = 1,0446 \text{ (см. табл. А.1);}$$

$$\Delta f_c = \pm (1,0446 - 1) 4,65 = \pm 0,2 \text{ см.}$$

А.2.10 Расчетный чертежный статический прогиб

$$f_{cp} = f_c \pm \Delta f_c$$

при $\mu = 0,4$ и $f_{cp} = 4,65 \pm 0,2$ см.

А.2.11 Статическая жесткость рессоры

$$J_c = \frac{P_1}{f_c + \Delta f_c} = \frac{108}{4,85} = 22,26 \text{ кН/см}$$

А.2.12 Динамическая жесткость рессоры $J_{дн} = K_{дн} \cdot J_c$;

$$\frac{P_c}{P_a} = \frac{f_c}{y_a} = \frac{4,65}{1,5} = 3,1$$

Определяем интерполяцией из таблицы А.1 значение $K_{дн}$ при $\mu = 0,2$, которое равно

$$K_{дн} = 1,0633 \cdot J_{дн} = 22,26 \cdot 1,0633 = 23,67 \text{ кН/см.}$$

А.2.13 Статическое напряжение

Усредненное напряжение изгиба в зоне края хомута идеальной рессоры

$$\sigma_{л} = \frac{10 P_c (\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot n_p} = \frac{10 \cdot 54 (54,7 - 0,5 \cdot 12)}{5,12 \cdot 9} = 570 \text{ МПа}$$

Расчетные статические напряжения в зоне края хомута

$$\sigma_{с\text{ расч}} = K_{дн}^c \cdot \sigma_{л} = 570 \cdot 0,8912 = 508 \text{ МПа.}$$

При $\mu = 0,4$ и $P_c/P_a = 1$

$$K_{дн}^e = 0,8912 \text{ (см. таблицу А.1).}$$

А.2.14 Амплитуда динамических напряжений

$$\sigma_a = K_{дн} \sigma_{ср\text{сч}} = 0,3078 \cdot 508 = 156 \text{ МПа}$$

При $\mu = 0,2$, $P_c/P_a = 3,1$ определяем интерполяцией из таблицы А.1

$$K_{дн} = 0,3078$$

А.3 Расчет статических усилий, действующих на отдельные листы рессоры, и напряжений в них.

А.3.1 Расчет прогибов для сечений, в которых оканчиваются листы ступенчатой части.

Расчет ведем по формуле

$$y_i(x_i) = \frac{10P_c}{EI_1} \left\{ \frac{x_i^2 \cdot \ell}{2n} - \frac{x_i \cdot \ell^2}{n^2} n \cdot \ln n_p + \frac{n\ell^3}{3} \left\{ n_p (\ln n_p - 1) - \left(n_p - \frac{n}{\ell} x_i \right) \left[\ln \left(n_p - \frac{n}{\ell} x_i \right) - 1 \right] \right\} \right\}$$

Коренные листы

$$y_{1,2,3} = \frac{10 \cdot 54}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1} \left\{ \frac{54,7^2 \cdot 54,7}{2 \cdot 6} - \frac{54,7 \cdot 54,7^2}{6^2} 3 \ln 9 + \frac{3 \cdot 54,7^3}{6^3} \left\{ 9 (\ln 9 - 1) - \left(9 - \frac{6}{54,7} 54,7 \right) \left[\ln \left(9 - \frac{6 \cdot 54,7}{54,7} \right) - 1 \right] \right\} \right\} = 4,7 \text{ см}$$

Листы ступенчатой части

$$y_4 = \frac{10 \cdot 54}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1} \left\{ \frac{43^2 \cdot 54,7}{2 \cdot 6} - \frac{43 \cdot 54,7^2}{6^2} 3 \ln 9 + \frac{3 \cdot 54,7^3}{6^3} \left\{ 9 (\ln 9 - 1) - \left(9 - \frac{6}{54,7} 43 \right) \left[\ln \left(9 - \frac{6 \cdot 43}{54,7} \right) - 1 \right] \right\} \right\} = 3,096 \text{ см}$$

Результаты расчета прогиба остальных листов приведены в таблице А.2.

А.3.2 Расчет усилий, действующих на отдельные листы.

С основной рессоры "снимаем" листы коренной части и получаем при этом новую рессору с одним коренным листом, длина которого

ℓ_4 и $(n-1)$ листов ступенчатой части:

$$n_4 = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Усилия, действующие на эту рессору, соответствуют нагрузке, действующей на лист № 4:

$$P_4 = \frac{y_4(x_4) \cdot E \cdot I_1 \cdot n_4^3}{10 \cdot \ell_4^3 \left\{ 0,5 n_4^2 - [n_4 - \ln(n_4 + 1)] \right\}};$$

$$P_4 = \frac{3,096 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1 \cdot 5^3}{10 \cdot 43^3 \left[0,5 \cdot 5^2 - (5 - \ln 6) \right]} = 44,84 \text{ кН}$$

Затем "снимаем" с этой рессоры лист № 4 и получаем новую рессору с одним коренным листом длиной ℓ_5 и $(n_4 - 1)$ листов ступенчатой части, то есть $n_5 = 5 - 1 = 4$.

Усилие, действующее на эту рессору, соответствует нагрузке P_5 , действующей на лист № 5:

$$P_5 = \frac{1,948 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1 \cdot 4^3}{10 \cdot 33,5^3 [0,5 \cdot 4^2 - (4 - \ln 5)]} = 50,9 \text{ кН}$$

Результаты расчета усилий, действующих на остальные листы, приведены в таблице А.2.

А.3.3 Расчет напряжений в отдельных листах. Напряжения в коренных листах рассчитываем методом равной кривизны:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{10 \cdot 54(54,7 - 0,5 \cdot 12)}{9 \cdot 5,12} = 570 \text{ МПа}$$

Напряжения в листах ступенчатой части

$$\sigma_4 = \frac{10(P_4 \cdot \ell_4' - P_5 \cdot \ell_5')}{W_1}; \quad \sigma_5 = \frac{10(P_5 \cdot \ell_5' - P_6 \cdot \ell_6')}{W_1};$$

где $\ell_i' = \ell_i - 0,5 \cdot a$

$$\sigma_4 = \frac{10[44,84 \cdot (43 - 6) - 50,9 \cdot (33,5 - 6)]}{5,12} = 506,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_9 = \frac{10P_9(\ell_9 - 0,5a)}{W_1} = \frac{10 \cdot 41,8(11,5 - 6)}{5,12} = 449 \text{ МПа}.$$

Результаты расчета для других листов приведены в таблице А.2. В этой же таблице приведены результаты расчета коэффициентов учета доли напряжений изгиба, воспринимаемых каждым листом $K_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_x}$.

А.3.4 Определение фактических статических напряжений с учетом сил трения и амплитуд динамических напряжений для отдельных листов

$$\sigma_{ci} = K_i \cdot \sigma_{c \text{ расч}}; \quad \sigma_{ai} = K_i \cdot \sigma_a.$$

Таблица А.2

Определяемый параметр	Номер листа						
	1,2,3	4	5	6	7	8	9
y_i , см	4,700	3,096	1,948	1,390	0,913	0,529	0,246
P_i , кН	54,000	44,840	50,900	51,000	50,250	48,800	41,800
σ_i , МПа	570,000	506,500	542,500	572,000	588,000	582,000	449,000
K_i	1,000	0,890	0,952	1,004	1,032	1,021	0,788

$$\sigma_{c4} = 508 \cdot 0,89 = 452,12 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a4} = 156 \cdot 0,89 = 138,84 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{c5} = 508 \cdot 0,952 = 483,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a5} = 156 \cdot 0,952 = 148,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{c6} = 508 \cdot 1,004 = 510,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a6} = 156 \cdot 1,004 = 156,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{c7} = 508 \cdot 1,032 = 542,27 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a7} = 156 \cdot 1,032 = 160,99 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{c8} = 508 \cdot 1,021 = 518,67 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a8} = 156 \cdot 1,021 = 159,28 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{c9} = 508 \cdot 0,788 = 400,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a9} = 156 \cdot 0,788 = 122,93 \text{ МПа}$$

А.3.5 Амплитуда напряжений, вызванная скачкообразным изменением площади поперечного сечения.

$$\sigma_{ca1} = \sigma_{ca2} = \sigma_{ca3} = \frac{10P_c(\ell - 0,5a)}{W_1 \cdot n_p^2} = \frac{10 \cdot 54(54,7 - 6)}{5,12 \cdot 9^2} = 63,4 \text{ МПа}.$$

Для листа № 4 принимаем модель рессоры с $m_4 = 1$, $n_4 = n-1 = 5$, $p_4 = 6$, $P_4 = 44,84 \text{ кН}$ (см. таблицу А.2), $\ell_4 = 43 \text{ см}$.

$$\sigma_{ca4} = \frac{10 \cdot 44,84(43 - 6)}{5,12 \cdot 6^2} = 90 \text{ МПа}$$

Лист № 5:

$$n_{p5} = 5, \quad P_5 = 50,9 \text{ кН};$$

$$\sigma_{ca5} = \frac{10 \cdot 50,9(33,5 - 6)}{5,12 \cdot 5^2} = 108,7 \text{ МПа}$$

Для нижнего листа ступенчатой части $\sigma_{ca9} = 0$.

Результаты расчета для остальных листов приведены в таблице А.3

А.3.6 Расчет радиусов изгиба листов и предварительных напряжений в них.

Радиус рессоры в собранном состоянии

$$R_0 = \frac{L_0^2}{8(f_c + 2y_n)};$$

$$R_0 = \frac{109,4^2}{8(4,65 + 2 \cdot 1,5)} = 195,56 \text{ см}$$

Радиус изгиба коренных листов

$$R_k = \frac{R_0}{1 - \frac{10R_0 \cdot P_n(k/s) \cdot \ell(k/s)}{mEI_1}}$$

где $P_n(k/s) = 2,7 \text{ кН}$;

$$R_k = \frac{195,56}{1 - \frac{10 \cdot 195,56 \cdot 2,7 \cdot 43}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1}} = \frac{195,56}{1 - 0,088} = 214,43 \text{ см.}$$

Радиус изгиба листов ступенчатой части

$$R_s = \frac{R_0}{1 + \frac{10R_0 \cdot P_n(k/s) \cdot \ell(k/s)}{(n-1)EI_1} \left(1 + \frac{\ln n}{n-1}\right)}$$

$$R_s = \frac{195,56}{1 + \frac{10 \cdot 195,56 \cdot 2,7 \cdot 43}{5 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1} (1 + \ln 6 / 5)} = \frac{195,56}{1,019} = 191,9 \text{ см.}$$

Предварительные напряжения в коренных листах

$$\sigma_{nk} = \frac{10EI_1}{W_1} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_k} \right) = \frac{10 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,1}{5,12} \left(\frac{1}{195,56} - \frac{1}{214,43} \right) = 75,6 \text{ МПа}$$

Предварительные напряжения в листах ступенчатой части

$$\sigma_{ns} = \frac{10 \cdot P_n(k/s) \cdot (\ell(k/s) - 0,5a)}{W_1 \cdot n};$$

$$\sigma_{ns} = \frac{10 \cdot 2,7 \cdot (43 - 6)}{5,12 \cdot 6} = 32,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{ni} = K_i \cdot \sigma_{ns}$$

$$\sigma_{n4} = 32,5 \cdot 0,89 = 28,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n5} = 32,5 \cdot 0,952 = 30,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n6} = 32,5 \cdot 1,004 = 32,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n7} = 32,5 \cdot 1,032 = 33,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n8} = 32,5 \cdot 1,021 = 33,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n9} = 32,5 \cdot 0,788 = 25,6 \text{ МПа.}$$

А.3.7 Максимальные напряжения в коренных листах:

$$\sigma_{i \max} = \sigma_{ci} + \sigma_{ai} + \sigma_{cai} - \sigma_{ni};$$

в листах ступенчатой части:

$$\sigma_{i \max} = \sigma_{ci} + \sigma_{ai} + \sigma_{cai} + \sigma_{ni};$$

Результаты расчета максимальных напряжений приведены в таблице А.3.

Таблица А.3

Напряжения в листах, МПа	Номер листа						
	1,2,3	4	5	6	7	8	9
σ_{ci}	570,00	452,12	483,60	510,30	542,27	518,67	400,30
σ_{ai}	156,00	138,84	148,50	156,60	160,99	159,28	122,93
σ_{cai}	63,40	90,00	108,70	137,00	180,00	257,00	0,00
σ_{ai}	75,60	28,90	30,10	32,60	33,50	33,20	25,60
$\sigma_{i \max}$	714,00	710,00	770,00	836,50	916,76	968,14	548,00

Максимальные напряжения в 7-м и 8-м листах превышают допускаемую величину максимальных рабочих напряжений $[\sigma]_p = 840$ МПа. В этом случае необходимо увеличить число листов рессоры до 10, приняв $n_p = 10$, и повторить расчет, начиная с раздела А.2.3.

Возможно и другое конструктивное решение - выполнение ско-
цах листов ступенчатой части.

В этом случае $\sigma'_{cai} = K_{ca} \cdot \sigma_{cai}$.

Принимаем $K_{ca} = 0,5$, тогда:

$$\sigma'_{ca7} = 0,5 \cdot 180 = 90 \text{ МПа};$$

$$\sigma'_{ca8} = 0,5 \cdot 257 = 128,5 \text{ МПа}$$

Величины максимальных напряжений в 7-м и 8-м листах не превышают величины $[\sigma]_p$ и составляют $\sigma_{7\max} = 826,76$ МПа,

$$\sigma_{8\max} = 839,65 \text{ МПа}.$$

Приложение Б (информационное)

Примеры вариантов расчета на ПЭВМ листовой рессоры
рессорного подвешивания тепловоза мощностью 2х2940 кВт

Исходные данные для расчета рессоры

Количество коренных листов	3
Расстояние между точками приложения нагрузки, см	109.4
Ширина хомута, см	12
Ширина листа рессоры, см	12
Толщина листа рессоры, см	1.6
Статическая нагрузка, кН	108
Коэффициент динамики	.3
Проектный статический прогиб рессоры, см	4.8
Мах. амплитуда колебаний рессоры, см	1.5
Коэффициент трения между листами рессоры в статике	.4
То же в динамике	.2
Коэффициент снижения уровня мах. рабочих напряжений	.839
Модуль упругости, МПа	210000
Допускаемые напряжения, МПа	1000
Напряжения от статической нагрузки, МПа	600
Коэффициент расчета силы взаимодействия листов	.05

ВАРИАНТ РАСЧЕТА 1

Общее количество листов в рессоре	9
Пробная нагрузка на рессору, кН	180.8

Расчетные коэффициенты

Коэффициент динамичности прогибов	1.07
То же при статическом нагружении	1.04
Коэффициент динамичности напряжений	.26
То же при статическом нагружении	.89
Диапазон разброса статического прогиба, см	.2

Расчетные напряжения, в МПа

Усредненные напряжения изгиба в листах идеальной рессоры	570.7
Расчетные статические напряжения у края хомута	508.1

Статические напряжения у края хомута	615.7
Амплитуда динамических напряжений в сечении у края хомута	134.2
Амплитуда динамических напряжений в сечении у края хомута, вызванных скачкообразным изменением площади поперечного сечения рессоры	63.4
Предварительные напряжения в коренных листах рессоры	77.1
То же в листах ступенчатой части	33.3

Геометрические размеры рессоры, в см

Шаг удлинения листов	5.4
Радиус рессоры в собранном состоянии	194.2
Радиус изгиба коренных листов	213.2
Радиус изгиба листов ступенчатой сти	187.7
Расчетный статический прогиб	4.7

НОМЕР ЛИСТА	y_1 см	p_1 кН	σ_1 МПа	k_1	ℓ_1 см
1	4.7	54	570.7	1	54.7
2	4.7	54	570.7	1	54.7
3	4.7	54	570.7	1	54.7
4	3.21	43.9	518.8	.909	43.9
5	1.9	51.9	550.6	.964	33
6	1.35	51.8	573	1.004	27.6
7	.89	51	587.7	1.029	22.2
8	.51	48.6	581.9	1.019	16.7
9	.24	42.1	444.1	.778	11.3

Расчетные напряжения по каждому листу

НОМЕР ЛИСТА	σ_{c1} МПа	σ_{a1} МПа	σ_{ca1} МПа	σ_{n1} Мпа	σ_{max1} МПа	σ_{min1} МПа
1	570.7	134.2	63.4	77.1	691.1	295.9
2	570.7	134.2	63.4	77.1	691.1	295.9
3	570.7	134.2	63.4	77.1	691.1	295.9
4	461.9	121.9	90.4	30.2	704.6	279.7
5	490.2	129.4	109.5	32.1	761.4	283.4
6	510.2	134.7	136.6	33.4	815.1	272.2
7	523.3	138.2	179.3	34.3	875.1	240.1
8	518.1	136.8	256.5	33.9	945.5	158.7
9	395.4	104.4	0	25.9	525.7	316.9

Предупреждение: в листе номер 7 суммарные напряжения= 875
превышают допустимые= 840

Предупреждение: в листе номер 8 суммарные напряжения= 945
превышают допустимые= 840

ВАРИАНТ РАСЧЕТА ПРИ НАЛИЧИИ СКОСОВ

НОМЕР ЛИСТА	y_1 см	p_1 кН	σ_1 МПа	k_1	l_1 см
1	4.7	54	570.7	1	54.7
2	4.7	54	570.7	1	54.7
3	4.7	54	570.7	1	54.7
4	3.21	43.9	518.8	.909	43.9
5	1.9	51.9	550.6	.964	33
6	1.35	51.8	573	1.004	27.6
7	.89	51	587.7	1.029	22.2
8	.51	48.6	581.9	1.019	16.7
9	.24	42.1	444.1	.778	11.3

Расчетные напряжения по каждому листу

НОМЕР ЛИСТА	$\sigma_{с1}$ МПа	$\sigma_{а1}$ МПа	$\sigma_{сa1}$ МПа	σ_{n1} МПа	σ_{max1} МПа	σ_{min1} МПа
1	570.7	134.2	31.7	77.1	659.4	327.6
2	570.7	134.2	31.7	77.1	659.4	327.6
3	570.7	134.2	31.7	77.1	659.4	327.6
4	461.9	121.9	45.2	30.2	659.4	324.9
5	490.2	129.4	54.7	32.1	706.6	338.1
6	510.2	134.7	68.3	33.4	746.8	340.6
7	523.3	138.2	89.6	34.3	785.5	329.7
8	518.1	136.8	128.2	33.9	817.2	287
9	395.4	104.4	0	25.9	525.7	316.9

ВАРИАНТ РАСЧЕТА 2

Общее количество листов в рессоре	10
Пробная нагрузка на рессору, кН	180.8

Расчетные коэффициенты

Коэффициент динамичности прогибов	1.06
То же при статическом нагружении	1.04
Коэффициент динамичности напряжений	.28
То же при статическом нагружении	.87
Диапазон разброса статического прогиба, см	.17

Расчетные напряжения, в МПа

Усредненные напряжения изгиба в листах идеальной рессоры	513.6
Расчетные статические напряжения у края хомута	451.3
Статические напряжения у края хомута	556.3
Амплитуда динамических напряжений в сечении у края хомута	130.2
Амплитуда динамических напряжений в сечении у края хомута, вызванных скачкообразным изменением площади поперечного сечения рессоры	51.3
Предварительные напряжения в кореннях листов рессоры	79.2
То же в листах ступенчатой части	29.4

Геометрические размеры рессоры, в см

Шаг удлинения листов	4.8
Радиус рессоры в собранном состоянии	205
Радиус изгиба коренных листов	227
Радиус изгиба листов ступенчатой части	198.6
Расчетный статический прогиб	4.29

НОМЕР ЛИСТА	y_1 см	p_1 кН	σ_1 Мпа	k_1	ℓ_1 см
1	4.29	54	513.6	1	54.7
2	4.29	54	513.6	1	54.7
3	4.29	54	513.6	1	54.7
4	3.07	44.6	464.3	.904	45
5	1.9	52.3	492	.958	34.8

6	1.43	52.3	509.9	.992	30
7	1.03	51.7	523.3	1.018	25.2
8	.68	50.4	528.9	1.029	20.4
9	.4	47.4	513.4	.999	15.6
10	.19	40.1	376.4	.732	10.8

Расчетные напряжения по каждому листу

НОМЕР ЛИСТА	$\sigma_{с1}$ МПа	σ_{a1} МПа	$\sigma_{сa1}$ МПа	σ_{r1} МПа	σ_{max1} МПа	σ_{min1} МПа
1	513.6	130.2	51.3	79.2	615.9	252.7
2	513.6	130.2	51.3	79.2	615.9	252.7
3	513.6	130.2	51.3	79.2	615.9	252.7
4	408	117.7	69.5	26.6	621.9	247.3
5	432.3	124.7	81.7	28.2	667.1	254
6	448	129.3	98	29.2	704.7	249.9
7	459.8	132.7	121.3	30	743.9	235.7
8	464.7	134.1	157.6	30.3	786.9	203.3
9	451.1	130.2	222.4	29.4	833.2	127.8
10	330.7	95.4	0	21.5	447.8	256.8

УДК 629.4.027.31 (083.76)

ОКСТУ

Ключевые слова: методика расчета, листовые рессоры, рессорное
подвешивание подвижного состава

Научно-исследовательский институт тепловозов
и путевых машин (ВНИТИ) МПС РФ

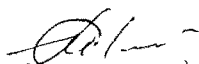
Зам.директора, к.т.н.



Э.И.Нестеров

Отдел стандартизации, сер-
тификации и комплексных
нормативно-технических
исследований

Зав.отделом, к.т.н.



А.А.Рыбалов

И.о.зав сектором



Л.В.Ширкалин

Вед. конструктор



А.Г.Лунин

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)

Проректор

(согласовано
ТЛГ № 2195
от 26.04.96)

К.Т.Турсунов

Академик АН УзССР, д.т.н. (согласовано
ТЛГ № 2195
от 26.04.96)

А.Д.Глущенко

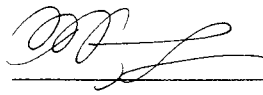
Доцент, к.т.н.

(согласовано
ТЛГ № 2195
от 26.04.96)

М.А.Ибрагимов

СОГЛАСОВАНО

Заместитель начальника
Управления локомотивного
хозяйства МПС РФ


_____ А.М. Кривной

“ 4 ” _____ 1996 г.



МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

г. Москва, 107174, Н.Басманная, 2

10 декабря 1996 г.

№ К-10957

У К А З А Н И Е

Начальникам управлений МПС
(по списку)

Об утверждении и введении
в действие ОСТ 32.59-96

Руководителям предприятий
и организаций МПС
(по списку)

С целью проведения единой технической политики при создании и эксплуатации подвижного состава, Министерство путей сообщения

П Р И К А З Ы В А Е Т:

Утвердить и ввести в действие с 1 января 1997 года стандарт отрасли ОСТ 32.59-96 "Методика расчета листовых рессор рессорного подвешивания подвижного состава железных дорог"

Приложение: ОСТ 32.59-96 на 35 листах.

Первый
Заместитель Министра

Н.Е. Арсенько

