

В. А. БРАТАШ, Т. И. ЕФИМОВА, Ю. В. ПОВОЛОЦКАЯ (Днепропетровский НПК «Электровозостроение»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗГРУЗОК (ДОГРУЗОК) КОЛЕС И ПРОГИБОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ЧЕТЫРЕХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ДС3 С ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ВТОРОГО РОДА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИЛ ТЯГИ ОТ ТЕЛЕЖЕК К КУЗОВУ ПРИ ПОМОЩИ НАКЛОННЫХ ТЯГ

У статті представлено розрахункові формули для визначення розвантажень (довантажень) коліс і прогинів ресорного підвішування чотиривісного електровоза ДС3 з тяговою передачею другого роду при передачі сил тяги від візків до кузова за допомогою похилої тяги. Виконано чисельні розрахунки на прикладі магістрального вантажопасажирського електровоза ДС3.

*Ключові слова:* колісна пара, підвіска, ресорний комплект, візок, статичний прогин

В статье представлены расчётные формулы для определения разгрузок (догрузок) колес и прогибов ресорного подвешивания четырехосного электровоза ДС3 с тяговой передачей второго рода при передаче сил тяги от тележек к кузову при помощи наклонных тяг. Выполнены численные расчёты на примере магистрального грузопассажирского электровоза ДС3.

*Ключевые слова:* колесная пара, подвеска, ресорный комплект, тележка, статический прогиб

In the article the calculation formulas for determination of unloadings (finish loadings) of wheels and bendings of a spring suspension of eight-wheel electric locomotive DS3 with the traction transmission of the second kind at transmitting the traction forces from bogies to body by means of sloping rods are presented. The numeral calculations on the example of main line freight-and-passenger electric locomotive DS3 are performed.

*Keywords:* wheelset, suspension, spring assembly, bogie, static bending

Магістральний грузопассажирський електровоз ДС 3 виробництва ГП «НПК «Електро-возостроєння» експлуатується на магістралях українських залізничних дорогах з январа 2005 року. Інвентарний парк цих електровозів становить 18 одиниць і продовжує поповнюватися. Результати шестигодичного досвіду експлуатації показали [1], що для умов дійсуючого графіка руху поїздів і встановлених норм їх маси і складу конструкція окремих вузлів ДС3 може удосконалитися. Тому нижче наведено варіанти такої модернізації деяких вузлів механічної частини електровоза.

При передачі крутного моменту від тягових двигачів (закріплених на рамі тележки) на колесні пари при допомозі редукторів, однією стороною встановлених на осі колесної пари, а другою – підвішених к рамі тележки (тягова передача другого роду), в зубчатому зацепленні виникають сили  $Z_K$  і  $Z_{III}$  (рис. 1) рівні по величині, но протилежні по напрямку

$$|Z_{K1}| = |Z_{III1}| = |Z_{K2}| = |Z_{III2}| = F \cdot D_{HK} / D_{3K}, \quad (1)$$

де  $F$  – сила тяги, реалізуєма однією колесною парою;

$D_{HK}, D_{3K}$  – діаметри ходового і зубчатого колеса відповідно.

В підвесках тягових редукторів також виникають сили  $\Delta q_{1ПР}$  і  $\Delta q_{2ПР}$  рівні по величині, но протилежні по напрямку

$$|\Delta q_{1ПР}| = |\Delta q_{2ПР}| = F \cdot D_{HK} / 2\ell_{ПР}, \quad (2)$$

де  $\ell_{ПР}$  – відстань від осі колесної пари до осі підвески редуктора к рамі тележки.

В результаті дії сил  $\Delta q_{РП}$  виникає момент, який догружає ресорний комплект передньої колесної пари і розгружає задній

$$\begin{aligned} |\Delta q_{1ПР}| &= |\Delta q_{2ПР}| = \\ &= F \cdot D_{HK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{ПР}) / (2\ell_{ПР} \cdot \ell_T), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $\ell_T$  – база тележки.

Под дією сил в зубчатому зацепленні редукторів по їх продольній осі виробиться розгрузка передньої по ходу колесної пари і догрузка задньої, величини котрих рівні

$$|\Delta q'_1| = |\Delta q'_2| = F \cdot D_{HK} / 2\ell_{ПР}. \quad (4)$$

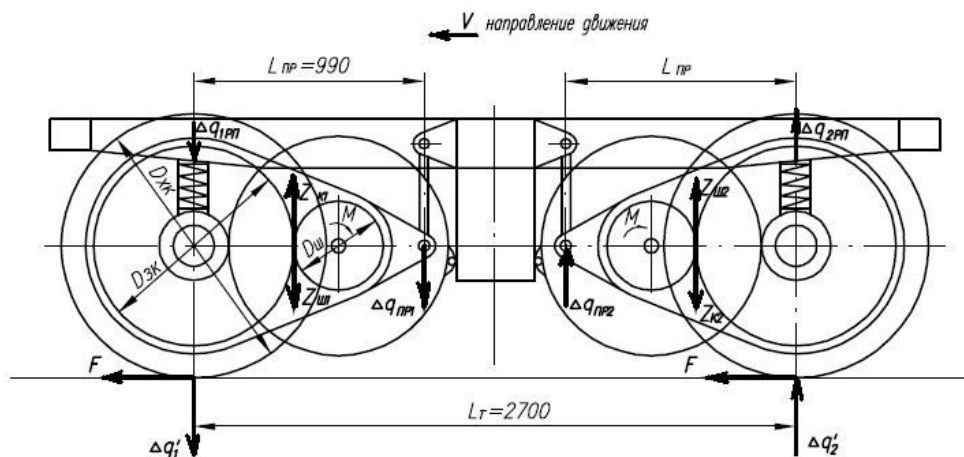


Рис. 1

Однако при одностороннем расположении редукторов на колесных парах эти разгрузки (догрузки) по колесам правой и левой стороны не одинаковы

$$\Delta q'_{1П} = \Delta q'_{2Л} = F \cdot D_{ХК} \cdot (B_K + B_{ПР}) / (4 \ell_{ПР} \cdot B_K), \quad (5)$$

$$\Delta q'_{1Л} = \Delta q'_{2П} = F \cdot D_{ХК} \cdot (B_K - B_{ПР}) / (4 \ell_{ПР} \cdot B_K), \quad (6)$$

где  $B_K$  – поперечное расстояние между кругами катания колес;

$B_{ПР}$  – расстояние между подвесками редукторов в поперечном направлении тележки.

Поскольку подвески редукторов первой и второй колесных пар разнесены на расстоянии  $B_{ПР}$  (рис. 2) возникает момент, который догружает рессорные комплекты правой стороны тележки и разгружает левую сторону

$$|\Delta q_{ПРП}^П| = |\Delta q_{ПРЛ}^Л| = F \cdot D_{ХК} \cdot B_{ПР} / (2 \cdot \ell_{ПР} \cdot B_{РП}), \quad (7)$$

где  $B_{РП}$  – расстояние между рессорным подвешиванием в поперечном направлении тележки.

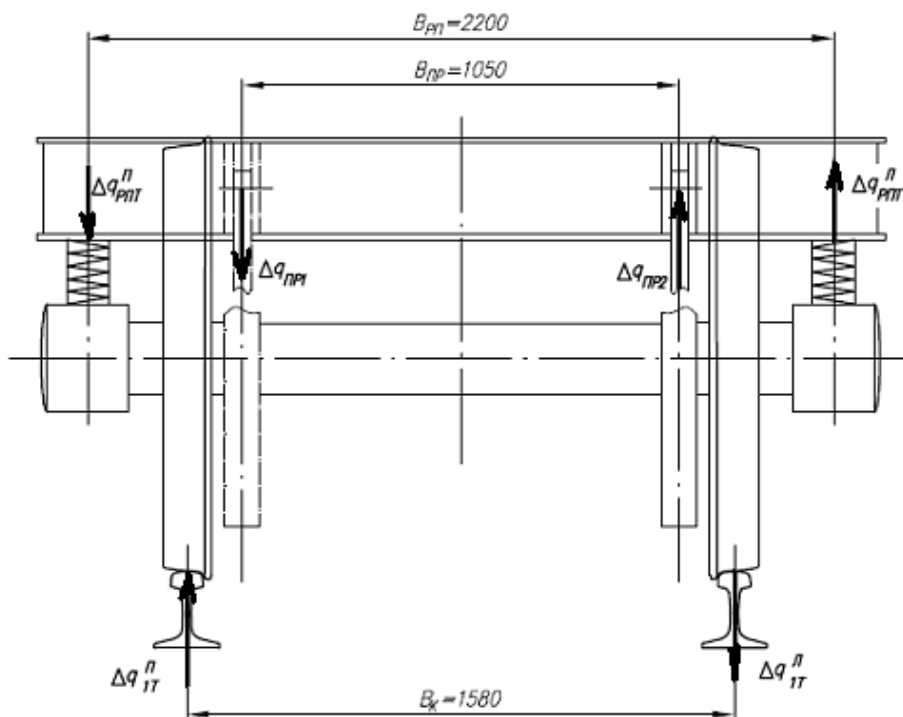


Рис. 2

При этом колеса правой по ходу стороны тележки догружаются, а левой стороны разгружаются

$$|\Delta q_{1T}^{II}| = |\Delta q_{1T}^{II}| = F \cdot D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}} / (2 \cdot \ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{К}}) \cdot (8)$$

При передаче силы тяги от тележки на кузов при помощи наклонной тяги на раму тележки действует момент, который догружает переднюю по ходу колесную пару и разгружает заднюю (рис. 3)

$$\Delta q_1^{II} = 2F \cdot (\ell_T + b_T) \cdot \text{tg} \alpha / \ell_T; \quad (9)$$

$$\Delta q_2^{II} = 2F \cdot b_T \cdot \text{tg} \alpha / \ell_T, \quad (10)$$

где  $b_T$  – расстояние от точки крепления наклонной тяги до оси передней колесной пары;  $\alpha$  – угол наклона тяги к уровню головки рельсов.

Одновременно действует опрокидывающий момент  $2F \cdot h_0$ . С учетом этого момента

$$\Delta q_1^{II} = 2F \cdot [(\ell_T + b_T) \cdot \text{tg} \alpha - h_0] / \ell_T; \quad (11)$$

$$\Delta q_2^{II} = 2F \cdot (b_T \cdot \text{tg} \alpha - h_0) / \ell_T, \quad (12)$$

где  $h_0$  – высота крепления тягового устройства к раме тележки.

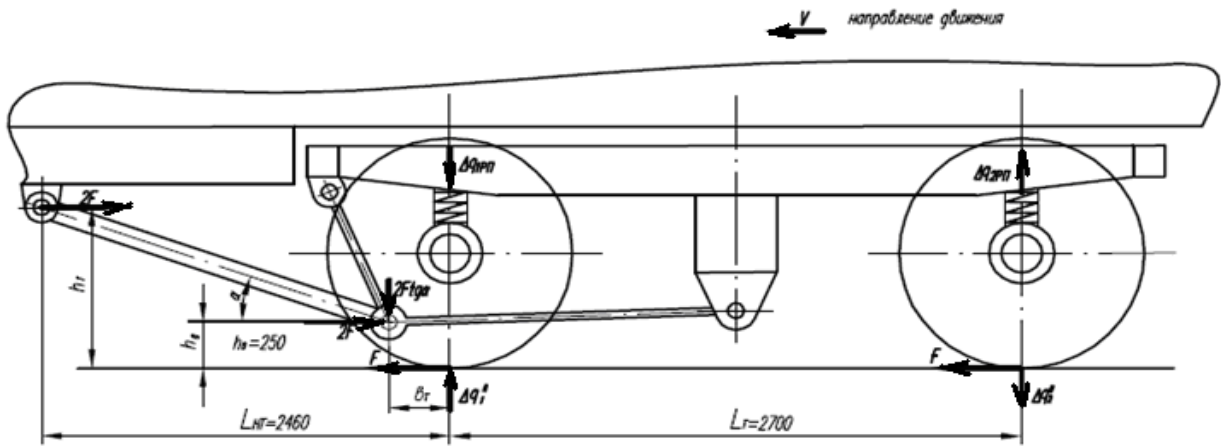


Рис. 3

При ведении поезда суммарная сила тяги  $4F$  (рис. 4) передается на уровне оси автосцепки  $H$  в результате чего образуется момент  $4F \cdot H$ , который разгружает колесные пары передней по ходу тележки  $\Delta q_1^{III} = \Delta q_2^{III}$ , а догружает колесные пары задней тележки  $\Delta q_3^{III} = \Delta q_4^{III}$ :

$$\Delta q_1^{III} = \Delta q_2^{III} = 4F \cdot H / LK; \quad (13)$$

$$\Delta q_3^{III} = \Delta q_4^{III} = 4F \cdot H / LK. \quad (14)$$



Рис. 4

Для удобства последующих расчетов изменения нагрузок на колесные пары электровоза, а также изменения прогиба пружин рессорного подвешивания будем принимать догрузки со знаком «+», а разгрузки – со знаком «-». Суммарные изменения нагрузок на колеса первой по ходу тележки электровоза составят:

- первая по ходу колесная пара:

$$\Delta q_1^I = \frac{\Delta q_{1PI}}{2} - \Delta q'_{1II} + \frac{\Delta q_{1IT}^II}{2} + \frac{\Delta q_1^{II}}{2} - \frac{\Delta q_1^{III}}{2} =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{XK}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (15)$$

$$\Delta q_1^II = \frac{\Delta q_{1PI}}{2} - \Delta q'_{1II} + \frac{\Delta q_{1IT}^II}{2} + \frac{\Delta q_1^{II}}{2} - \frac{\Delta q_1^{III}}{2} =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{XK}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (16)$$

- вторая по ходу колесная пара:

$$\Delta q_2^I = -\frac{\Delta q_{2PI}}{2} + \Delta q'_{2II} + \frac{\Delta q_{1IT}^II}{2} - \frac{\Delta q_2^{II}}{2} - \frac{\Delta q_2^{III}}{2} =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{XK}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (17)$$

$$\Delta q_2^II = -\frac{\Delta q_{2PI}}{2} + \Delta q'_{2II} - \frac{\Delta q_{1IT}^II}{2} - \frac{\Delta q_2^{II}}{2} - \frac{\Delta q_2^{III}}{2} =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{XK}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]. \quad (18)$$

Аналогично определяются изменения нагрузок на колеса второй по ходу электровоза тележки. При этом:

$$\Delta q_{3PI} = \Delta q_{1PI}; \quad (19)$$

$$|\Delta q_3^{II}| = |\Delta q_2^{II}|; \quad (20)$$

$$\Delta q'_{3II} = \Delta q'_{1II}; \quad (20)$$

$$\Delta q'_{3II} = \Delta q'_{1II}; \quad (21)$$

$$\Delta q_{2T}^II = \Delta q_{1T}^II; \quad (22)$$

$$\Delta q_{2T}^II = \Delta q_{1T}^II; \quad (23)$$

$$\Delta q_{4PI} = \Delta q_{2PI}; \quad (24)$$

$$|\Delta q_4^{II}| = |\Delta q_1^{II}|; \quad (25)$$

$$\Delta q'_{4II} = \Delta q'_{2II}; \quad (26)$$

$$\Delta q'_{4II} = \Delta q'_{2II}. \quad (27)$$

С учетом изложенного, получим:

$$\Delta q_3^I = F \cdot \left[ \frac{b_T \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{XK}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (28)$$

$$\Delta q_3^II = F \cdot \left[ \frac{b_T \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{XK}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (29)$$

$$\Delta q_4^I = F \cdot \left[ -\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{XK}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (30)$$

$$\Delta q_4^II = F \cdot \left[ -\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{XK}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]. \quad (31)$$

Принимая, что жесткость рессорных комплектов каждого колеса электровоза одинаковые, изменения их прогибов будет пропорционально изменению нагрузок  $\Delta P$  на них.

$$\Delta P_1^I = (\Delta q_{1PI} + \Delta q_{PIIT}^II + \Delta q_1^{II} - \Delta q_1^{III}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PI})}{4\ell_{PI} \cdot \ell_T} + \frac{D_{XK} \cdot B_{PI}}{4\ell_{PI} \cdot B_{PI}} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (32)$$

$$\Delta P_1^II = (\Delta q_{1PI} - \Delta q_{PIIT}^II + \Delta q_1^{II} - \Delta q_1^{III}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PI})}{4\ell_{PI} \cdot \ell_T} - \frac{D_{XK} \cdot B_{PI}}{4\ell_{PI} \cdot B_{PI}} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (33)$$

$$\Delta P_2^I = (-\Delta q_{2PI} + \Delta q_{PIIT}^II - \Delta q_2^{II} - \Delta q_2^{III}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PI})}{4\ell_{PI} \cdot \ell_T} + \frac{D_{XK} \cdot B_{PI}}{4\ell_{PI} \cdot B_{PI}} - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (34)$$

$$\Delta P_2^II = (-\Delta q_{2PI} - \Delta q_{PIIT}^II - \Delta q_2^{II} - \Delta q_2^{III}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PI})}{4\ell_{PI} \cdot \ell_T} - \frac{D_{XK} \cdot B_{PI}}{4\ell_{PI} \cdot B_{PI}} - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (35)$$

$$\Delta P_3^I = (\Delta q_{3PI} + \Delta q_{PII} + \Delta q_3'' + \Delta q_3''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PP})}{4\ell_{PP} \cdot \ell_T} + \frac{D_{XK} \cdot B_{PP}}{4\ell_{PP} \cdot B_{PP}} + \frac{\text{tg } \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (36)$$

$$\Delta P_3^{II} = (\Delta q_{3PI} - \Delta q_{PII} + \Delta q_3'' + \Delta q_3''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ \frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PP})}{4\ell_{PP} \cdot \ell_T} - \frac{D_{XK} \cdot B_{PP}}{4\ell_{PP} \cdot B_{PP}} + \frac{\text{tg } \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (37)$$

$$\Delta P_4^I = (-\Delta q_{4PI} + \Delta q_{PII} - \Delta q_4'' - \Delta q_4''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PP})}{4\ell_{PP} \cdot \ell_T} + \frac{D_{XK} \cdot B_{PP}}{4\ell_{PP} \cdot B_{PP}} - \frac{\text{tg } \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (38)$$

$$\Delta P_4^{II} = (-\Delta q_{4PI} - \Delta q_{PII} - \Delta q_4'' + \Delta q_4''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[ -\frac{D_{XK} \cdot (\ell_T - 2\ell_{PP})}{4\ell_{PP} \cdot \ell_T} - \frac{D_{XK} \cdot B_{PP}}{4\ell_{PP} \cdot B_{PP}} - \frac{\text{tg } \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]. \quad (39)$$

Определив  $\Delta P_K$  каждого колеса и зная жесткость рессорного комплекта на колесо  $J_K$ ,

необходимо определить изменения статических прогибов  $\Delta f_K = \Delta P_K / J_K$ , на основании которых определить положение (перекос) кузова в продольном и поперечном направлениях с учетом изменения статического прогиба люлечных подвешиваний на тележках:

$$\Delta f_{JT} = \pm \frac{4 \cdot F \cdot H}{L_K \cdot J_{JT}}, \quad (40)$$

где  $J_{JT}$  – жесткость комплекта пружин люлечного подвешивания тележки, знак «-» означает разгрузку, а знак «+» – догрузку.

Используя полученные соотношения, были определены разгрузки (догрузки) колес и прогибы рессорного подвешивания существующего варианта конструкции электровоза ДСЗ и возможных вариантов модернизации, связанных со смещением точек крепления наклонной тяги, в частности:

а) на тележке относительно оси колесной пары:

- исходный вариант –  $b_T = -230$  мм;
- модернизация –  $b_T = 800$  мм;

б) на раме кузова:

- исходный вариант –  $h_T = 440$  мм;
- модернизация –  $h_T = 500$  мм.

Расчет выполняется для следующих режимов движения электровоза:

а) расчетный режим с грузовым поездом со скоростью 62,7 км/ч;

б) расчетный режим с пассажирским поездом со скоростью 105 км/ч.

Исходные данные к расчету и его результаты приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Символ	Исходный вариант		Модернизация	
	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч
$F$ , Н	67500	40250	67500	40250
$D_{XK}$ , м	1,250	1,250	1,250	1,250
$l_{PP}$ , м	0,990	0,990	0,990	0,990
$l_T$ , м	2,700	2,700	2,700	2,700
$l_{HT}$ , м	2,470	2,470	2,470	2,470
$h_T$ , м	0,440	0,440	0,500	0,500
$B_K$ , м	1,580	1,580	1,580	1,580
$B_{PI}$ , м	2,200	2,200	2,200	2,200
$B_{PII}$ , м	1,088	1,088	1,088	1,088
$H$ , м	1,060	1,060	1,060	1,060
$L_K$ , м	8,230	8,230	8,230	8,230
$b_T$ , м	-0,230	-0,230	0,230	0,230
$h_0$ , м	0,250	0,250	0,250	0,250
$\zeta_2$ , Н/м	1327000	1327000	1327000	1327000
$P_{ст}$ , Н	221000	221000	221000	221000
$\alpha$ , рад	0,07	0,07	0,11	0,11
$\alpha$ , град	4,03	4,03	6,37	6,37

Таблица 2

Параметр	Формула	Исходный вариант		Модернизация	
		расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч
$\Delta q_{1ПР}, Н$	(2)	42614	25410	42614	25410
$\Delta q_{2ПР}, Н$	(2)	42614	25410	42614	25410
$\Delta q_{1РП}, Н$	(3)	11364	6776	11364	6776
$\Delta q_{2РП}, Н$	(3)	11364	6776	11364	6776
$\Delta q'_{1п}, Н$	(6)	35979	21454	35979	21454
$\Delta q'_{2п}, Н$	(5)	6635	3956	6635	3956
$\Delta q'_{1л}, Н$	(5)	6635	3956	6635	3956
$\Delta q'_{2л}, Н$	(6)	35979	21454	35979	21454
$\Delta q''_{1,2т}, Н$	(8)	29344	17498	29344	17498
$\Delta q''_{1,2т}, Н$	(8)	29344	17498	29344	17498
$\Delta q''_{1,2}, Н$	(11)	-3809	-2271	13698	8168
$\Delta q''_{2,2}, Н$	(12)	-13309	-7936	-6512	-3883
$\Delta q'''_{1,2}, Н$	(13)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{2,2}, Н$	(13)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{3,2}, Н$	(14)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{4,2}, Н$	(14)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q''_{1,2}, Н$	(16)	-26223	-15637	-17470	-10417
$\Delta q''_{2,2}, Н$	(18)	13586	8101	10187	6075
$\Delta q''_{3,2}, Н$	(29)	-13586	-8101	-10187	-6075
$\Delta q''_{4,2}, Н$	(31)	26223	15637	17470	10417
$\Delta q''_{1,2}, Н$	(15)	-26223	-15637	-17470	-10417
$\Delta q''_{2,2}, Н$	(17)	13586	8101	10187	6075
$\Delta q''_{3,2}, Н$	(28)	-13586	-8101	-10187	-6075
$\Delta q''_{4,2}, Н$	(30)	26223	15637	17470	10417
$\Delta P''_{1,2}, Н$	(32)	5621	3352	14374	8571
$\Delta P''_{2,2}, Н$	(34)	2816	1679	-582	-347
$\Delta P''_{3,2}, Н$	(36)	18258	10887	21657	12914
$\Delta P''_{4,2}, Н$	(38)	15454	9215	6700	3995
$\Delta P''_{1,2}, Н$	(33)	-15454	-9215	-6700	-3995
$\Delta P''_{2,2}, Н$	(35)	-18258	-10887	-21657	-12914
$\Delta P''_{3,2}, Н$	(37)	-2816	-1679	582	347
$\Delta P''_{4,2}, Н$	(39)	-5621	-3352	-14374	-8571
$\Delta Z''_{1,2}, мм$	(40)	4,2	2,5	10,8	6,5
$\Delta Z''_{2,2}, мм$		2,1	1,3	-0,4	-0,3
$\Delta Z''_{3,2}, мм$		13,8	8,2	16,3	9,7
$\Delta Z''_{4,2}, мм$		11,6	6,9	5,0	3,0
$\Delta Z''_{1,2}, мм$		11,6	6,9	-5,0	-3,0
$\Delta Z''_{2,2}, мм$		-13,8	-8,2	-16,3	-9,7
$\Delta Z''_{3,2}, мм$		-2,1	-1,3	0,4	0,3
$\Delta Z''_{4,2}, мм$		-4,2	-2,5	-10,8	-6,5

**Вывод**

Таким образом, можно сделать вывод, что для получения минимально возможных догрузок (разгрузок) колесных пар и деформаций пружин первой ступени рессорного подвешивания тележек целесообразно выполнить модернизацию ( $b_T = 800$  мм;  $h_T = 500$  мм).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гетьман, Г. К. Результати експлуатації електро-возів ДСЗ на залізницях України [Текст] / Г. К. Гетьман, Ю. В. Михайленко, С. В. Арпуль // Матеріали IV Межд. науч.-практ. конф. «Електрифікація залізничного транспор-та». –Д., 2010. – С. 13-14.

Поступила в редколлегию 10.05.2011.

Принята к печати 19.05.2011.