

Е.П. БЛОХИН, д-р. техн. наук, профессор, ДНУЖТ (Украина)  
 С.А. КОСТРИЦА, канд. техн. наук, доцент, ДНУЖТ (Украина)  
 В.В. ЧУМАК, канд. техн. наук, ГП НПК «Электровозостроение» (Украина)  
 Н.П. ОСТРОВЕРХОВ, канд. техн. наук, доцент, ДНУЖТ (Украина)  
 А.В. СУЛТАН, канд. техн. наук, доцент, ДНУЖТ (Украина)  
 В.Н. ДАЦЕНКО, ст. научн. сотр., ДНУЖТ (Украина)  
 А.Е. КРИВЧИКОВ, аспирант, ДНУЖТ (Украина)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОВОЗА ДС-3

У статті приведені результати міцнісних випробувань електровоза ДС3

В статье приведены результаты прочностных испытаний электровоза ДС3

In paper results of strength tests of electric locomotive DS3 are submitted.

В 2003 году отраслевой научно-исследовательской лабораторией динамики и прочности подвижного состава Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ) были проведены ходовые прочностные испытания нового скоростного магистрального электровоза переменного тока ДС3 производства ГП НПК «Электровозостроение» и компании Siemens. Основным его отличием от эксплуатируемого на железных дорогах Украины подвижного состава является асинхронный тяговый привод с опорно-рамным подвешиванием тягового электродвигателя. Данный локомотив является односекционным, его мощность составляет 4800 кВт.

С целью экспериментальной проверки соответствия показателей прочности и долговечности конструкции электровоза ДС3-001 требованиям нормативно-технической документации [1] ДНУЖТом были проведены его статические и динамические прочностные испытания.

### 1 Статические прочностные испытания

Статические стендовые испытания проводились на испытательном стенде Крюковского вагоностроительного завода (г. Кременчуг) с использованием тензометрического комплекса СИИТ-3.

При проведении испытаний, согласно [1], электровоз подвергался продольному растяжению силами до 700 кН и продольному сжатию силами до 2500 кН. При растяжении нагрузка прикладывалась ступенями 500 кН и 200 кН, при сжатии – ступенями 500 кН. Значение продольной силы фиксировалась с использованием штатной аппаратуры, установленной на испытательном стенде.

Для измерения напряжений в элементах исследуемой конструкции на кузове электровоза было установлено 49 тензодатчиков, схема размещения которых приведена на рис. 1.

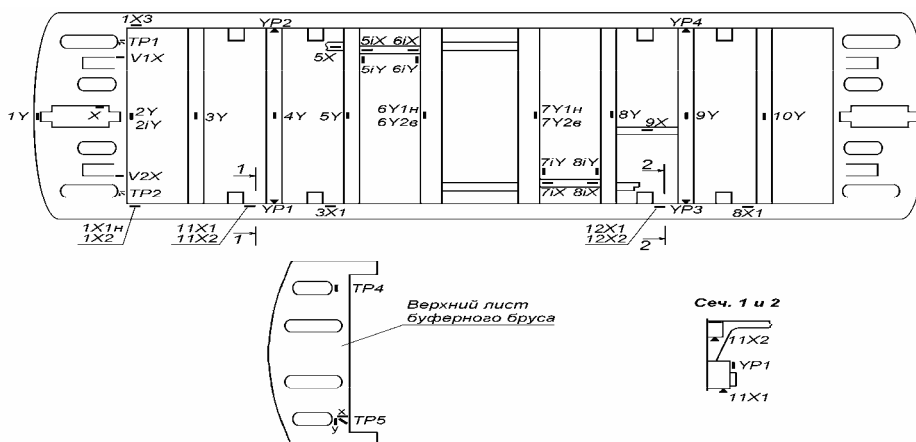


Рис. 1. Схема размещения на раме кузова тензодатчиков для измерения напряжений

Напряжения, соответствующие первому расчетному режиму, были определены путем суммирования напряжений, полученных экспериментально при действии сжимающей силы 2500 кН и расчетных напряжений от веса кузова и расположенного в нем оборудования. При определении напряжений, соответствующих второму расчетному режиму, замеренные напряжения от продольной сжимающей (растягивающей) силы 700 кН суммировались с расчетными напряжениями от веса кузова и расположенного в нем оборудования, умноженными на коэффициент вертикальной динамики 1,3.

Анализ результатов испытаний показал, что наибольшие напряжения при втором расчетном режиме имели место в нижней боковой продольной балке базовой рамы кузова в месте её сочленения с буферным брусом (точка 1X1) и нижней части розетки автосцепки (точка 1Y) и составили соответственно 115 МПа и 89 МПа. Напряжения в остальных точках не превышали 50 МПа.

При действии нагрузок, соответствующих первому расчетному режиму, наибольшие напряжения также имели место в нижней части розетки автосцепки (точка 1Y) – 290 МПа и в нижней боковой продольной балке в месте её сочленения с буферным брусом (точка 1X1) – 220 МПа. Напряжения на нижнем листе буферного бруса в районе заднего упора поглощающего аппарата составили –225 МПа (точка X). В остальных точках напряжения не превышали 70 МПа.

## **2 Выводы по результатам статических прочностных испытаний**

Основные несущие элементы кузова электровоза изготовлены из стали 09Г2Д у которой, согласно [1], допускаемые напряжения для первого расчетного режима составляют 295 МПа и 190 МПа для второго расчетного режима. Поэтому, приведенные результаты позволили сделать вывод о том, что в целом конструкция кузова удовлетворяет условиям прочности.

## **3 Ходовые прочностные испытания**

Ходовые прочностные испытания электровоза ДСЗ проводились в ноябре 2003 года на Юго-Западной железной дороге. Опытный сцеп состоял из электровозов ДСЗ-001 и ЧС8 (который использовался как эталон) и двух вагонов-лабораторий. Испытания на участках пути, содержащих кривые с радиусами 385...600 м, проводились со скоростями

60...80 км/ч на участке Казатин II – Сестренивка, а со скоростями 60...120 км/ч – на участке Казатин I – Фастов. Поездки со скоростями до 180 км/ч осуществлялись на участке Борисполь – Барышевка, специально подготовленном для скоростного движения.

В процессе динамических прочностных испытаний измерялись динамические добавки напряжений в рамах кузова и тележек, в реактивных тягах и тягах люлечного подвешивания. Кроме того, фиксировались скорость движения опытного сцепа и сила в автосцепке.

Схема размещения тензодатчиков на раме кузова была такой же, как и при проведении статических прочностных испытаний (см. рис. 1). Схема размещения тензодатчиков на раме тележки электровоза приведена на рисунке 2.

Тензорезисторы, расположенные вдоль продольной оси электровоза, обозначены X; расположенные в горизонтальной плоскости перпендикулярно к продольной оси – Y; наклеенные вертикально – Z.

Тензорезисторы, используемые для измерения динамических добавок напряжений в тягах люлечного подвешивания, обозначены L1, L2, L3, L4, в реактивных тягах – R1, R2, R3, R4. При этом следует отметить, что тензодатчики, установленные на первой и второй тягах люлечного подвешивания, были собраны в схему таким образом, что они позволяли измерить динамические добавки напряжений, вызванные только изгибом тяг в поперечной и продольной плоскостях соответственно, а датчики на третьей и четвертой тягах – только растягивающие (сжимающие) напряжения. Аналогично тензодатчики на первой и третьей реактивной тягах позволяли измерять динамические добавки напряжений только от их изгиба в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно, а тензодатчики на второй и четвертой реактивных тягах – только растягивающие (сжимающие) напряжения.

Измерение напряжений проводилось при движении электровоза на прямых и кривых участках пути на выезде, при действии силы тяги и рекуперативном торможении.

Анализ осциллограмм, записанных во время опытов, показал:

– при трогании электровоза с места и достижении максимальной силы тяги имеют место достаточно большие по величине напряжения в несущих элементах рамы тележки, в частности на нижней косынке, соединяющей центральную поперечную балку тележки с боковиной (точка В3Х);

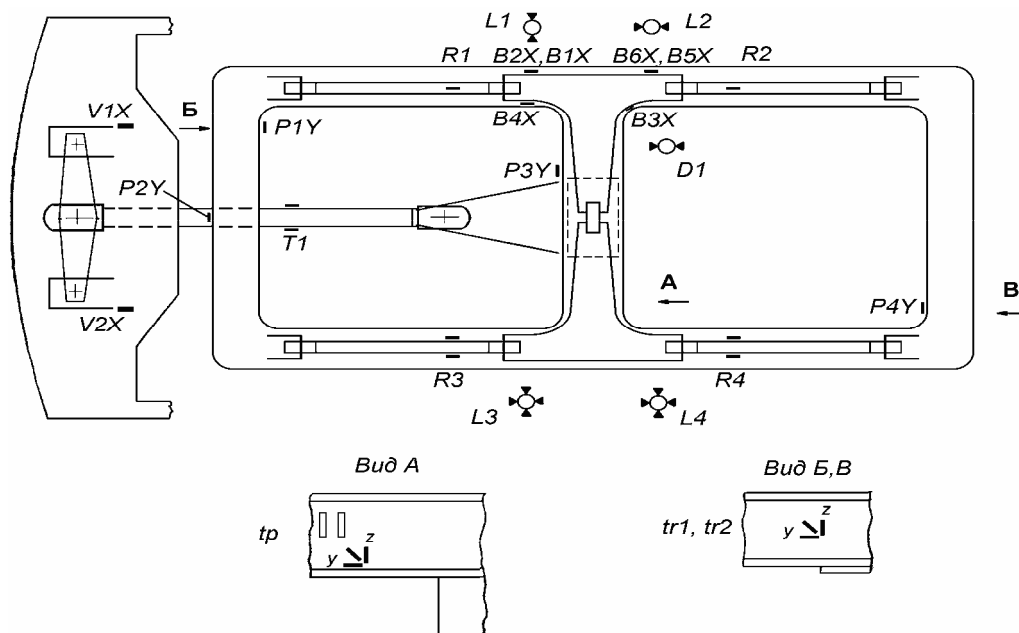


Рис. 2. Схема размещения на раме тележки тензодатчиков для измерения напряжений

– в реактивных тягах и тягах люлечного подвешивания имеют место изгибные напряжения, которые по величине сравнимы с растягивающими напряжениями, что свидетельствует о наличии сил трения в узлах крепления указанных элементов и может отрицательно сказаться на их долговечности;

– динамические добавки напряжений в реактивных тягах и тягах люлечного подвешивания мало зависят от скорости движения;

– наиболее нагруженным узлом рамы кузова электровоза при всех эксплуатационных режимах является узел сочленения нижней боковой продольной балки с буферным брусом (точка 1X1).

Прочность несущих элементов рам кузова и тележек, а также тяг люлечного подвешивания и реактивных тяг, согласно [1], оценивалась по коэффициенту запаса сопротивления усталости  $n$ .

Коэффициент запаса  $n$  определялся по формуле

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\psi \cdot \sigma_v + k \cdot \sigma_m}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости стандартного образца при симметричном цикле нагружения;  $\psi$  – коэффициент, характеризующий влияние асимметрии цикла;  $k$  – коэффициент, характеризующий понижение предела выносливости конструкции по отношению к пределу выносливости стандартного образца;  $\sigma_m$  – среднее напряжение цикла;  $\sigma_v$  – амплитуда напряжений цикла.

Значения пределов выносливости для элементов, работающих на растяжение-сжатие, таких как тяги люлечного подвешивания, реактивные тяги и косынки между центральной поперечной балкой тележки и боковиной, определялись умножением нормативного значения  $\sigma_{-1}$  на поправочный коэффициент 0,8 [2].

Коэффициент  $k$  определялся из соотношения:

$$k = \frac{\beta_k \cdot k_1 \cdot k_2}{\gamma \cdot m}, \quad (2)$$

где  $\beta_k$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений. Так как все датчики были установлены непосредственно в зоне концентрации напряжений, то коэффициент  $\beta_k$  для всех тензоточек, кроме расположенных на реактивных тягах, принимался равным 1. Для реактивных тяг коэффициент  $\beta_k$  принимался равным 1,4 [1];  $k_1$  – коэффициент, учитывающий неоднородность материала детали. Для проката  $k_1=1,1$ ;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий влияние внутренних напряжений в детали. Для деталей с размерами поперечного сечения до 250 мм  $k_2=1$ ;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий размеры детали, значение которого определяется согласно графику, приведенному в [1, рис.3.5]. В зависимости от размеров детали, на которой располагался тензодатчик, значение  $\gamma$  принималось равным: для реактивных тяг и тяг люлечного подвешивания – 0,9, косынок, соединяющих центральную поперечную балку тележки с боковиной – 0,8, для остальных элементов –

0,55;  $m$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали. Для проката  $m=0,8$ .

Величина среднего напряжения цикла определялась из соотношения:

$$\sigma_m = \sigma_{CT} + \sigma_f + \sigma_{KP}, \quad (3)$$

где:  $\sigma_{CT}$  – статические напряжения в элементах кузова и тележек, найденные расчетным путем и вызванные собственным весом конструкции и

весом оборудования;  $\sigma_f$  – значения напряжений, вызванные тяговыми усилиями;  $\sigma_{KP}$  – значения напряжений при движении по кривым участкам пути.

Коэффициенты запаса усталостной прочности  $n$  и значения динамических добавок напряжений для наиболее нагруженных элементов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения динамических добавок напряжений и коэффициента запаса усталостной прочности в наиболее нагруженных элементах конструкции электровоза ДСЗ**

Элемент конструкции	Диапазон скоростей	$\sigma_f$ , МПа	$\sigma_{KP}$ , МПа	$\sigma_v$ , МПа	$n$
Тяги люлечного подвешивания	0...50	6	14	45	4,06
	50...90	5	8	45	4,18
	90...130	3	4	43	4,54
	130...170	2	3	48	4,08
Реактивные тяги	0...50	4	14	32	2,14
	50...90	4	7	35	2,01
	90...130	2	5	34	2,15
	130...170	4	4	36	2,08
Нижняя косынка между центральной балкой и боковиной тележки	0...50	64	33	24	2,03
	50...90	55	15	27	2,02
	90...130	35	6	34	2,01
	130...170	24	5	36	2,01
Узел сочленения нижней боковой продольной балки с буферным брусом	0...50	35	13	9	7,86
	50...90	30	11	18	4,29
	90...130	19	6	25	3,35
	130...170	13	7	27	3,05

**4 Выводы по результатам динамических прочностных испытаний**

Из приведенных результатов видно, что даже для наиболее нагруженных элементов конструкции электровоза ДСЗ значения коэффициентов запаса сопротивления усталости не меньше нормативного значения 2. Однако следует отметить, что для реактивных тяг, а также нижних косынок, соединяющих центральную поперечную балку тележки с боковиной, коэф-

фициент запаса сопротивления усталости близок к предельному значению.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажей локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М.: ВНИИЖТ РФ, 1998.
2. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие, том 4. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – К.: Наукова думка, 1990.