

Е.П. БЛОХИН, д-р техн. наук, профессор, ДИИТ (Украина)  
 А.М. БОНДАРЕВ, канд. техн. наук, доцент, ДИИТ (Украина)  
 В.Л. ГОРОБЕЦ, канд. техн. наук, ДИИТ (Украина)  
 А.Е. КРИВЧИКОВ, аспирант, ДИИТ (Украина)  
 В.В. ЧУМАК, канд. техн. наук, НПК «ДЭВЗ» (Украина)  
 Д.А. ЯГОДА, научн. сотр., ДИИТ (Украина)

## РЕЗУЛЬТАТЫ УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ДС-3

У роботі приведено результати ударних випробувань магістрального електровоза ДС3.

В работе приведены результаты ударных испытаний магистрального электровоза ДС3.

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

### 1 Методика проведения испытаний

Целью испытаний являлось: определение напряженного состояния основных несущих конструкций рамы кузова и тележки, коэффициентов запаса прочности и проверка их соответствия требованиям [1] и Нормам [2]; определение ускорений рамы тележки, кузова электровоза, а также основных устройств систем управления работой электровоза.

При проведении испытаний использовались вагон-лаборатория, электровоз ДС3-001, тепловоз ЧМЭЗ и состав из одиннадцати груженых вагонов Приднепровской железной дороги.

При этом измерялись в продольном направлении ускорения в следующих местах: на шкафах оборудования в кузове электровоза (шесть шкафов, датчики А1...А6, рис. 1); на продольной балке кузова электровоза (три точки по длине, датчики А7...А9, рис. 1); на раме тележки (одна точка, датчик А10, рис. 2). В наиболее нагруженных точках основных элементов несущих конструкций рамы кузова и рамы тележки с помощью тензорезисторов измерялись деформации и далее вычислялись напряжения (всего двадцать одна точка, на рис. 3 приведены основные из них). Эти точки были определены на основании предварительных расчетов, выполненных сотрудниками ГП НПК «Электровозостроение», а также на основании результатов стендовых испытаний на продольное сжатие статическими нагрузками. Сила, возникающая в поглощающем аппарате автосцепки при продольном ударе и действующая на раму кузова электровоза, измерялась с помощью специальной, с наклепом, динамометрической

автосцепки. Скорость движения в момент удара вычислялась с помощью приспособления, состоящего из двух датчиков, которые фиксировали прохождение первой колесной пары, и датчика времени (таймера).

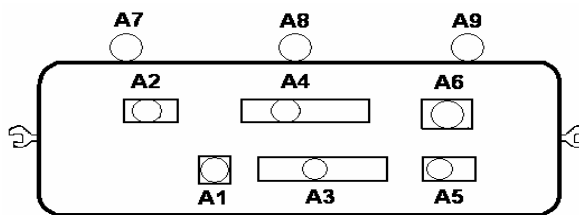


Рис. 1. Схема размещения на продольной боковой балке рамы кузова электровоза и на шкафах оборудования датчиков ускорений

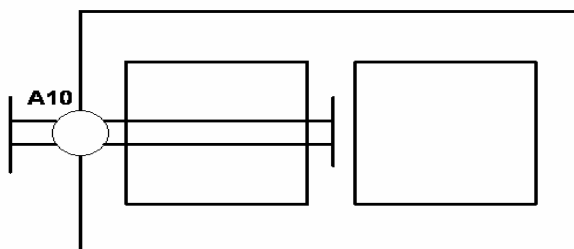


Рис. 2. Схема размещения на раме тележки датчика для измерения продольных ускорений

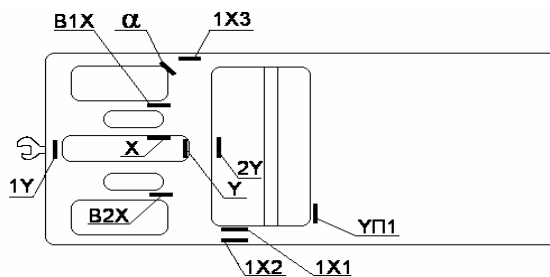


Рис. 3. Схема размещения на несущих конструкциях рамы кузова электровоза тензорезисторов

Таким образом, при проведении ударных испытаний измерялись: ускорения в 10 точках; напряжения в 21 точке; усилия в одном сечении.

Согласно [2] испытания проводились по двум схемам. При испытаниях по первой схеме электровоз накатывался при помощи вспомогательного локомотива на заторможенный состав из одиннадцати груженных полувагонов. При испытаниях по второй схеме на электровоз, подпертый составом заторможенных грузовых вагонов, накатывался вагон-боек. Испытуемый электровоз оборудован эластомерными поглощающими аппаратами, а состав из полувагонов и вагон-боек – фрикционными. Схемы размещения единиц подвижного состава во время проведения испытаний приведены на рис. 4 и 5.



Рис. 4. Схема размещения единиц подвижного состава при накатывании электровоза на состав из заторможенных грузовых вагонов



Рис. 5. Схема размещения единиц подвижного состава в случае, когда на электровоз, подпертый составом заторможенных грузовых вагонов, накатывался вагон-боек

В соответствии с требованиями [1] и рекомендациями Норм [2] ударные испытания электровоза ДС3-001 начинались со скорости 2 км/ч. Интервал изменений скоростей движения электровоза или вагона-бойка был равным 0,5 км/час.

Во время испытаний после первого ударного нагружения при данной скорости проводился анализ измеряемых величин (напряжений, усилия в автосцепке, ускорений рамы кузова, рамы тележки и шкафов оборудования, расположенных в кузове электровоза).

Проектируемый локомотив соответствует требованиям [1], если при максимальной вели-

чине продольной ударной силы в автосцепке, равной 2500 кН, величины коэффициентов запаса прочности не ниже допускаемых значений ( $[n]=1,1$  для элементов несущих конструкций кузова и  $[n]=1,2$  для элементов несущих конструкций рам тележек).

Ускорения шкафов оборудования, расположенных в кузове электровоза, определялись для проверки соответствия Техническому заданию на разработку и изготовление электровоза. Оборудование, расположенное в шкафах фирмы «Siemens», рассчитано на ускорения не более 5g.

## 2 Результаты испытаний на удар

На рис. 6 и 7 приведены осциллограммы усилий  $F_a$  в поглощающем аппарате автосцепки, напряжений  $\sigma_{1Y}$  в одном из элементов несущих конструкций кузова, а также ускорений  $A_{10}$  рамы тележки.

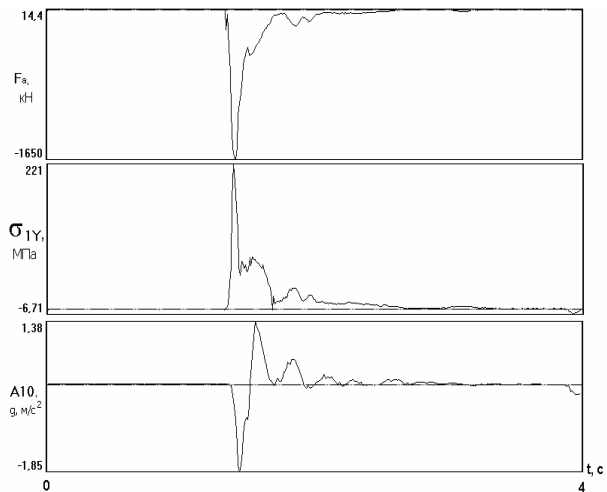


Рис. 6. Осциллограммы при соударении по первой схеме при скорости удара 10,3 км/ч

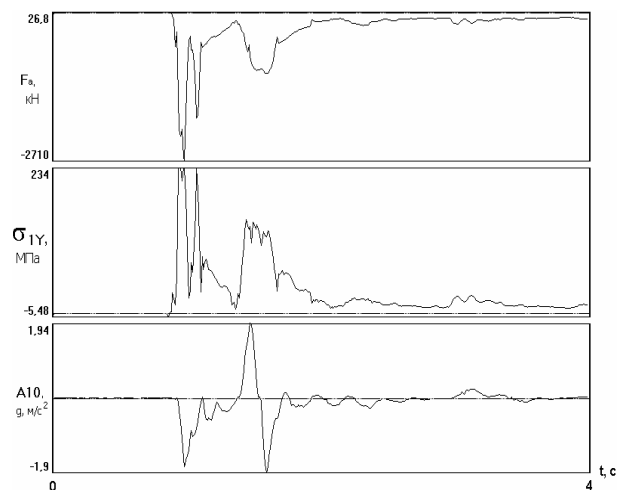


Рис. 7. Осциллограммы при соударении по второй схеме при скорости удара 15 км/ч

Из приведенных рисунков следует, что при соударениях по первой схеме (см. рис. 4), когда электровоз накатывался на заторможенный сцеп вагонов, усилие в автосцепке  $F_a$  имеет вид одиночного импульса длительностью 0,15 с (см. рис. 6). Общая длительность ударного нагружения электровоза составляла 1,3 с.

При соударениях по схеме 2 (см. рис. 5), когда на электровоз, прицепленный к составу из десяти груженых и заторможенных вагонов, накатывался вагон-боек, усилие в автосцепке  $F_a$  имеет вид трех импульсов с амплитудами 2710, 1990 и 1160 кН соответственно (см. рис. 7). Это обстоятельство объясняется возникающими продольными колебаниями в образовавшейся после удара системе. Показателен и тот факт, что после удара в автосцепке не возникает растягивающих усилий, что свидетельствует о хорошем поглощении энергии удара эластомерным поглощающим аппаратом.

С целью получения возможности оценивать величины ударных сил, формируемых в поглощающем аппарате в зависимости от скорости соударений, а напряжений и ускорений – в зависимости от продольной ударной силы, в результате соответствующей статистической обработки были получены регрессионные зависимости. Примеры этих зависимостей приведены на рис. 8 и 9.

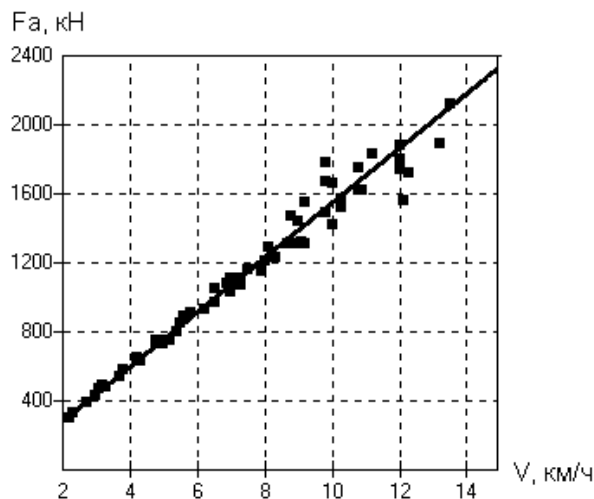


Рис. 8. Зависимость максимальных сжимающих усилий  $F_a$  в автосцепке от скорости соударения по первой схеме

Из приведенных рисунков следует, что при соударениях, когда на подпорную стенку накатывался опытный электровоз ДС3-001 (см. рис. 8), максимальные значения усилий в автосцепке от скорости зависят практически линейно. Во втором случае, когда электровоз был присоединен к составу вагонов и на опытный электровоз

накатывался вагон-боек (см. рис. 9) при скоростях соударения 12 км/ч и более усилия возрастают более интенсивно.

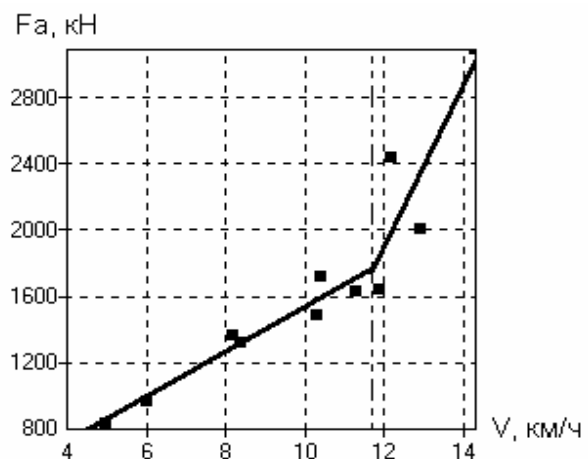


Рис. 9. Зависимость максимальных сжимающих усилий  $F_a$  в автосцепке от скорости соударения по второй схеме

Эту особенность можно объяснить тем, что поглощающий аппарат автосцепки вагона, к которому был присоединен опытный электровоз, закрывался при меньшем уровне ударной силы, нежели это было при соударениях по первой схеме. Отметим также, что применение эластомерного поглощающего аппарата автосцепки на электровозе ДС3 позволило в сравнении с поглощающим аппаратом ШТТ, который установлен на электровозе ДЭ1, снизить уровень ударных нагрузок при одинаковых скоростях соударений. Так, на электровозе ДЭ1 максимальные значения ударных сил  $F_a=2500$  кН достигались при скоростях соударений  $V=8,5$  км/ч, а на электровозе ДС3 – при  $V=13...15$  км/ч. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что благодаря стабильной работе эластомерного поглощающего аппарата, экипажная часть электровоза ДС3 лучше защищена от ударных нагрузок.

На рис. 10 и 11 приведены примеры регрессионных зависимостей наибольших напряжений  $\sigma$  для точки 1У от наибольших значений продольных усилий, возникающих в поглощающем аппарате автосцепки  $F_a$ .

Регрессионные зависимости максимальных значений напряжений от наибольших значений продольной ударной силы практически во всех точках изменяются по линейному закону. Необходимо отметить, что в связи с отсутствием испытаний при малых скоростях соударений по второй схеме регрессионные зависимости напряжений от силы в автосцепке не всегда начинаются в начале координат. Однако при силах,

превышающих 800 кН, достоверность всех построенных регрессионных зависимостей достаточно высока. Наибольшие напряжения возникают в точках 1У, X, У, 1X1, 1X3, 11X1, 11X2. При этом в некоторых точках наибольшими оказались растягивающие напряжения, а в некоторых точках – сжимающие напряжения. Ранее обращалось внимание на то обстоятельство, что за счет кратковременных изгибных колебаний в некоторых точках наблюдаются как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Продольные колебания кузова электровоза как системы с конечным числом степеней свободы или как системы с распределенными параметрами не наблюдаются (поскольку после удара в автосцепке не наблюдалось растягивающих усилий).

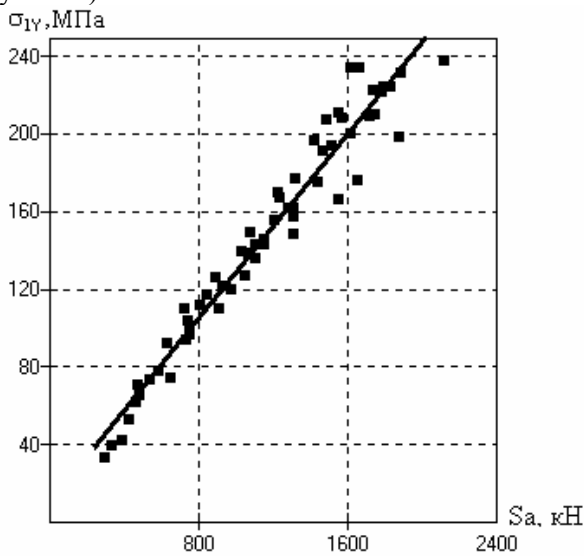


Рис. 10. Наибольшие растягивающие напряжения в точке 1У при соударениях по первой схеме

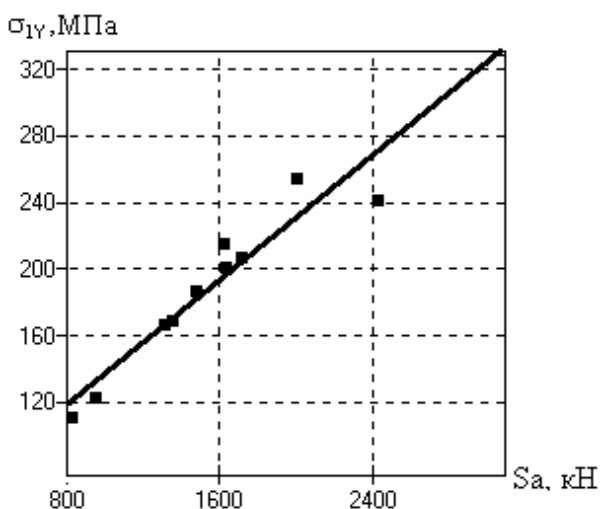


Рис. 11. Наибольшие растягивающие напряжения в точке 1У при соударениях по второй схеме

На рис. 12 приведены распределения зависимостей наибольших значений измеренных ускорений от наибольших усилий в автосцепке для датчика на А6. Наибольшие ускорения, как и ожидалось, испытывают шкафы оборудования, расположенные ближе к месту действия ударной продольной силы. На раме кузова наибольшие ускорения возникают на противоположной относительно места удара части кузова. Из приведенного рисунка следует также, что зависимость ускорения рамы тележки от ударной силы практически линейна. Это объясняется большой жесткостью связи через наклонную тягу между узлом восприятия ударной силы и рамой тележки.

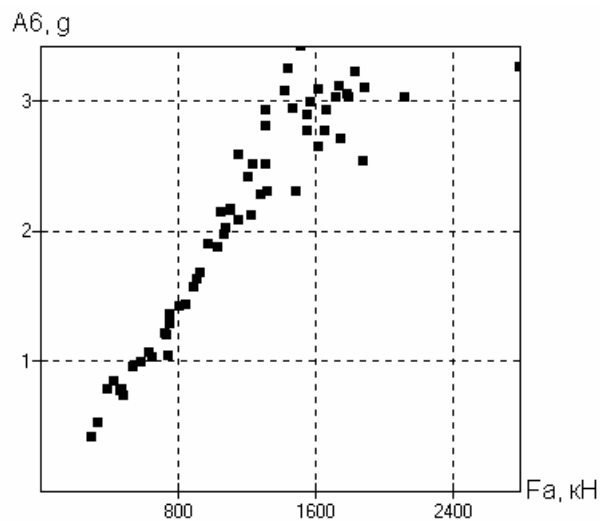


Рис. 12. Наибольшие замеренные значения ускорений в точке А6 при соударениях по первой схеме

Значения коэффициентов запаса прочности определялись согласно положению Технических требований [1] по формуле

$$n = \frac{\sigma_T}{\beta_K (\sigma_Y + \sigma_{CT})}, \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности;  $\sigma_T$  – предел текучести материала;  $\beta_K$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений (для сварных швов, выполненных автоматической сваркой, этот коэффициент равен 1,5);  $\sigma_Y$  – наибольшее значение измеренного динамического напряжения при ударном нагружении силой 2500 кН;  $\sigma_{CT}$  – статическая составляющая напряжений в соответствующей точке от веса установленного оборудования, полного запаса песка и воды и от собственного веса данного элемента конструкции.

Наиболее опасной с точки зрения прочности оказалась точка 1У. Необходимо обратить внимание на точки 1X1, 1X3, X, в которых напря-

жения примерно на 35...40 % меньше по сравнению с точкой 1У. В точке 1У при продольной ударной силе, изменяющейся в диапазоне 2400...2700 кН, и скоростях соударения 13...15 км/ч, максимальные значения напряжений оказались равными 306 МПа, что практически равно пределу текучести материала 305 МПа. Необходимо отметить, что в условиях эксплуатации скорость соударения локомотива при подходе к поезду не должна превышать 5 км/ч. При таких скоростях соударений усилия в автосцепке будут не выше 850...900 кН, а напряжения в опасной точке 1У не превысят 120 МПа.

Наибольшие продольные ускорения, возникающие при продольных ударах, оказались в точках А9, А1. При максимальной продольной силе 2710 кН ускорения в указанных точках, а также на раме тележки оказались равными: на раме кузова в точке А9 – 2,69g, на шкафах оборудования в точке А1 – 2,99g, на раме тележки в точке А10 – 1,94g.

В результате расчета коэффициентов запаса прочности и сравнения их с допускаемыми было установлено, что во всех точках, кроме точки 1У, расчетные значения больше минимально допустимых. В точке 1У, которая находится на нижнем листе, примыкающем к лобовому брусу, в зоне розетки поглощающего аппарата автосцепки, коэффициент запаса прочности равен 0,66 (при допускаемом значении 1,1).

Коэффициенты запаса прочности определялись при величине предела текучести  $\sigma_T = 305$  МПа. Значения статических составляющих напряжений  $\sigma_{ст}$  рассчитывались специалистами ГП НПК «Электровозостроение».

Значения коэффициентов запаса прочности приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения коэффициентов запаса прочности**

№ п/п	Точка	Значение n	Допустимое значение n
1	1У	0,66	1,1
2	2У	1,77	1,1
3	Х	1,14	1,1
4	У	1,77	1,1
5	В1Х	2,23	1,1
6	В2Х	1,88	1,1
7	А	1,94	1,1
8	1Х1	1,1	1,1
9	1Х2	3,31	1,1
10	1Х3	1,1	1,1
11	УП1	2,2	1,1

Максимальные ускорения рамы кузова и рамы тележки не превышают 3g даже при максимальной продольной ударной силе, равной 2710 кН.

**Выводы**

В процессе проведения ударных испытаний по двум схемам было выполнено свыше семидесяти соударений со скоростями в диапазоне от 2 до 15 км/час.

По результатам расчетов в точке 1У не выполняются требования по условию прочности. Поэтому специалистам ГП НПК «Электровозостроение» была дана рекомендация выполнить работы по усилению данного фрагмента розетки автосцепки путем приварки полосы металла соответствующей толщины. Толщина листа определялась на основании теоретического расчета по методу конечных элементов. После проведенных заводом-изготовителем работ по усилению указанного фрагмента конструкции кузовной части с целью снижения максимальных динамических напряжений в точке 1У до уровня 180 МПа электровоз ДС3-001 был передан на эксплуатационные испытания.

В процессе обработки результатов измерений были построены: регрессионные зависимости ударных усилий в автосцепке от скорости соударения; регрессионные зависимости максимальных значений напряжений в основных элементах несущих конструкций и в наклонной тяге от усилия в автосцепке; зависимости максимальных ускорений кузова, рамы тележки и шкафов основного оборудования от усилия в автосцепке.

На основании регрессионных зависимостей наибольших значений динамических напряжений от силы удара были определены наибольшие их значения при силе удара 2500 кН. Далее по методике, изложенной в требованиях [1], определялись коэффициенты запаса прочности.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технические требования к проектируемым локомотивам по условиям прочности, динамики и воздействия на путь. – М.: ВНИИЖТ, 1964.
2. 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.