

Л.А. МАНАШКИН, д-р техн. наук, профессор

С.В. МЯМЛИН, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,

Е.А. ПИСЬМЕННЫЙ, ст. научн. сотр.

Днепропетровский национальный университет жеознодородного транспорта имени академика В. Лазаряна (Украина)

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ В ТЕЛЕЖКАХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Запропоновано схему виміру вертикальних сил, що діють на боковину з боку букси, що дозволяє компенсувати вплив подовжніх сил на результати вимірів вертикальних сил і здійснювати досить точний вимір вертикальних сил і аналіз стійкості руху вагона під час дії подовжніх сил.

Предложена схема измерения вертикальных сил, действующих на боковину со стороны буксы, позволяющая компенсировать влияние продольных сил на результаты измерений вертикальных сил и осуществлять достаточно точно измерение вертикальных сил и анализ устойчивости движения вагона во время действия продольных сил.

A method of compensation of longitudinal forces influence on the results of measurements of vertical forces in an axle-box and a side-frame interaction of the freight car three-piece bogie is presented in the paper.

Измерение вертикальных сил, действующих на колёсные пары, является необходимым атрибутом экспериментального определения условий безопасности движения грузовых вагонов. Эти измерения, как правило, осуществляются косвенно по деформациям боковин тележек при действии на них вертикальных сил со стороны колёсных пар. На рис. 1,а и 1,б приведены две наиболее часто встречаемые схемы расположения датчиков для измерения вертикальных сил [1, 2]. К сожалению, обе эти схемы чувствительны к действию продольных сил со стороны букс колёсных пар на тележку. В 1991-1992 годах Л.Манашкиным совместно с А.Жаковским и В.Колбуном на стенде кафедры вагонов ДИИТа был проведен эксперимент по изучению степени влияния продольных сил, действующих на боковину со стороны буксы, на показания датчиков вертикальных сил. Эти опыты показали весьма сильную чувствительность схемы, приведенной на рис. 1,б, к действию продольных сил. Анализ показывает, что и схема (рис. 1,а) имеет погрешности при измерении вертикальных сил. Всё это хорошо известно испытателям грузовых вагонов. Поэтому при анализе устойчивости движения вагонов от всползания колеса на рельс участки записей, на которых имели место торможения вагонов, исключались из рассмотрения или на испытываемых вагонах отключались тормоза.

Следует отметить, что продольные силы постоянно присутствуют при испытаниях ваго-

нов, даже при движении на выбеге. Это составляющие сил при ударном взаимодействии колёс с рельсами на стыках, продольные силы, возникающие при вписывании колёсных пар в кривые участки пути, составляющие продольных сил инерции колёсных пар при продольных взаимодействиях вагонов, составляющие силы сопротивления движению. Более того, при анализе безопасности движения вагонов самостоятельный интерес представляет определение коэффициента устойчивости от всползания колеса на рельс при торможениях вагонов, так как сходы колёсных пар нередко провоцируются режимами торможения. Поэтому исключение влияния продольных сил, действующих со стороны букс на боковины тележек, является достаточно важной задачей.

Попытки исключить продольные силы из показаний датчиков вертикальных сил производились в 1992 году Л.Манашкиным совместно с Н. Гаркави, но оказались безрезультатными.

Вопрос о компенсации продольных сил при измерении вертикальных сил обсуждался специалистами, и появились предложения по компенсации отрицательного влияния сложного нагружения боковины тележки на результаты измерения вертикальных сил [3, 4].

Однако нельзя согласиться с утверждением авторов работы [3], что проблема может быть решена путём «наклейки тензорезисторов в четырёх точках верхнего пояса боковой рамы,

которые позволяют компенсировать влияние боковых и продольных сил». Дело в том, что, во-первых, таким путём можно компенсировать только влияние горизонтальных боковых сил на результаты измерения вертикальных сил. Во-вторых, продольные силы, влияющие на показатели датчиков вертикальных сил, действуют через хобот рамы или по плоскости опирания тележки на буксу через силы трения и оказывают разное влияние на деформации датчиков, измеряющих вертикальные силы. В третьих, продольные силы при идеальном их приложении (равномерном по ширине хобота

или по ширине плоскости опирания боковины на буксу) вызывают не только деформации растяжения-сжатия верхнего пояса боковины, но и её изгиб в той же плоскости, что и вертикальные силы. Поэтому необходимо использовать датчики, измеряющие изгибающий момент, обусловленный действием только продольных сил от взаимодействия буксы с хоботом боковины, и датчики, измеряющие деформации волокон, в которых в наибольшей мере проявятся деформации, вызванные продольными силами, приложенными в плоскости опирания буксы на тележку.

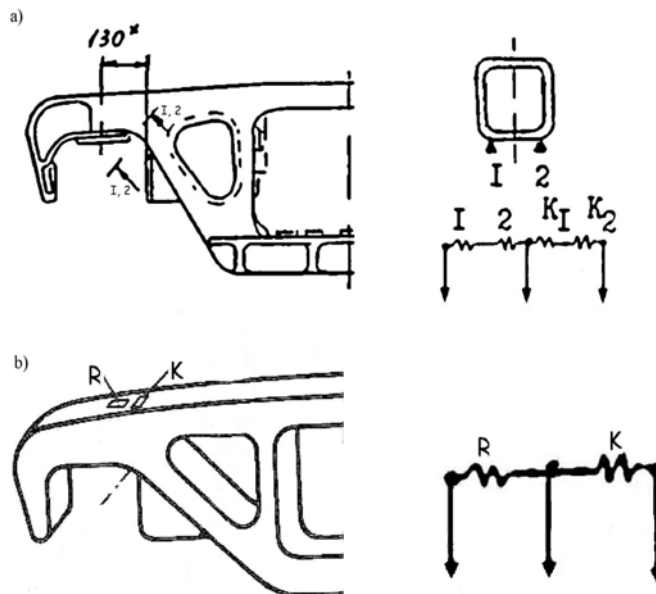


Рис. 1. Схемы расположения датчиков для измерения вертикальных сил

Также известно, что силы трения как при вертикальных колебаниях грузового вагона, так и при его горизонтальных колебаниях зависят от вертикальных сил. Поэтому можно предположить, что в случаях, когда при движении по кривым имеют место почти постоянные боковые силы, переменная (вследствие вертикальных колебаний) сила трения будет способствовать параметрическому нелинейному возбуждению боковых колебаний с частотами вертикальных колебаний. При этом, если перемещения в подвеске при вертикальных колебаниях происходят с остановками (из-за сил сухого трения), то следует ожидать появления остановок и при боковых колебаниях со всеми вытекающими отсюда последствиями. А последствия – это появление вибраций с более высокими частотами, обусловленными упругими характеристиками боковины, в эти моменты времени. Возможно, что обнаруженные при описанных экспериментах эффекты связаны не только с влиянием дефектов измерения, но и с

параметрическим возбуждением боковых колебаний вертикальными колебаниями.

Продольные силы, действующие со стороны буксы на боковину тележки и воспринимаемые измеряющим датчиком, прикладываются посредством сил трения (в данном случае вернее их назвать силами сцепления) по касательной к горизонтальной поверхности буксового проёма, а также к хоботу боковины в моменты взаимодействия буксы с ним.

В данной работе предлагается одна из возможных схем (рис.2,а) измерения вертикальных сил, действующих со стороны буксы на боковину тележки, которая, по мнению авторов, позволит существенно снизить влияние продольных составляющих сил на результаты измерений. Здесь R – рабочий тензодатчик, измеряющий деформации волокна в срединной плоскости симметрии боковины, возникающие как при вертикальных, так и продольных силах, действующих на боковину тележки; K<sub>1</sub> – тензодатчик, расположенный на пересечении сре-

динной поверхности боковины и наружной поверхности её хобота у его основания;  $K_{21}$  и  $K_{22}$  – тензодатчики, расположенные на средней линии боковых поверхностей верхнего пояса боковины в том же сечении, что и датчик, отмеченный символом  $R$ . Датчики  $K_{21}$  и  $K_{22}$  соединяются последовательно, образуя сопротивление  $K_2=K_{21}+K_{22}$ , показанное на рис.2,б. Желательно, чтобы величины сопротивлений  $K_1$  и  $K_2$  были одинаковы, а величина сопротив-

ления  $R$  равнялась сумме этих сопротивлений. Резисторы  $R_{ш1}$  и  $R_{ш2}$ , шунтирующие датчики  $K_{21}$  и  $K_{22}$ , установлены в предположении, что чувствительность датчиков  $K_1$  и  $K_2$  к продольным силам выше чувствительности рабочего датчика к этим же силам. В противном случае необходимо в схему, показанную на рис.2,б, добавить резистор, шунтирующий рабочий датчик, и исключить один из резисторов, шунтирующих компенсационные датчики.

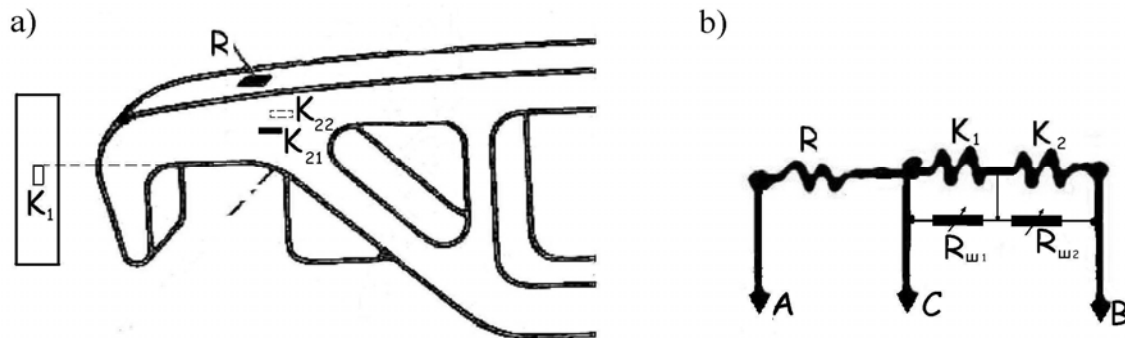


Рис.2. Схема измерения вертикальных сил, действующих со стороны буксы на боковину тележки

При анализе работы схемы предполагалось, что к точкам А и В схемы (рис.2,б), прикладывалось электрическое напряжение  $2U$  питания измерительного моста. Точка С – одна из вершин измерительной диагонали моста. Для упрощения математических выкладок принимаем, что в исходном состоянии  $K_1=K_2=0,5R=R_0$ . Продольную силу, действующую на хобот боковины, назовём продольной силой один, отличая её индексом пр1, а продольную силу, действующую по касательной к горизонтальной поверхности буксового проёма, продольной силой два с индексом пр2. Деформации волокна датчика  $K_1$ , определяются только силой один. Деформации же датчиков  $R$  и  $K_2$  определяются с разными передаточными коэффициентами вертикальной силой (индекс V), продольной силой один и продольной силой два. Поэтому приращения сопротивлений тензодатчиков под динамической нагрузкой в общем случае движения представлены как:

$$\Delta R = \Delta R_V + \Delta R_{пр1} + \Delta R_{пр2}, \quad (1)$$

$$\Delta K_1 = \Delta K_{1пр1}, \quad (2)$$

$$\Delta K_2 = \Delta K_{2v} + \Delta K_{2пр1} + \Delta K_{2пр2}. \quad (3)$$

Пренебрегая малыми второго и более порядков, получим следующее выражение для электрического напряжения в диагонали предварительно сбалансированного моста при действии указанных сил:

$$\Delta U \approx \frac{U}{2bR_0} \left[ -\Delta R_V (a - a_2 z_V) - \Delta R_{пр1} (a - a_1 z_1 - a_2 z_{12}) - \Delta R_{пр2} (a - a_2 z_2) \right], \quad (4)$$

где

$$a = 1 + \frac{R_0}{R_{ш1}} + \frac{R_0}{R_{ш2}}, \quad a_1 = 1 + \frac{R_0}{R_{ш2}}, \quad a_2 = 1 + \frac{R_0}{R_{ш1}}, \quad b = 1 + a, \quad (5)$$

$$z_V = \frac{\Delta K_{2V}}{\Delta R_V}, \quad z_1 = \frac{\Delta K_{1пр1}}{\Delta R_{пр1}},$$

$$z_2 = \frac{\Delta K_{2пр2}}{\Delta R_{пр2}}, \quad z_{12} = \frac{\Delta K_{2пр1}}{\Delta R_{пр1}}. \quad (6)$$

Величины (6) являются постоянными для конкретной схемы измерений, так как характеризуют отношения величин деформаций в конкретных точках боковины при действии определённой силы.

Из выражения (4) следует, что влияние продольных сил 1 и 2 на результаты измерения вертикальной силы будут скомпенсированы, если будут равны нулю разности во второй и третьей скобке в этом выражении. Одновременно снизится чувствительность схемы к измерению самой вертикальной силы, но это мо-

жет быть скомпенсировано увеличением усиления.

Выразив переменную  $a$  через  $a_1$  и  $a_2$ , а также приравняв нулю выражения во второй и третьей скобках выражения (4), получим уравнения для определения коэффициентов  $a$ ,  $a_1$  и  $a_2$ :

$$\begin{cases} a - a_1 - a_2 = -1, \\ a - z_{11}a_1 - z_{12}a_2 = 0, \\ a - z_{21}a_1 - z_{22}a_2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Определитель системы уравнений (7) в общем случае не равен нулю. Следовательно, это уравнение разрешимо. Из него могут быть найдены величины  $a_1$  и  $a_2$ , а затем и величины шунтирующих сопротивлений.

Практически предложенная схема должна настраиваться экспериментально в процессе подготовки и тарировки измерительных трактов. Для этого сначала балансируется измерительный мост балансировочными устройствами тензометрического усилителя. Затем к буксе, расположенной в средней части буксового проёма так чтобы она не касалась его щёк, прикладывается сила два такой величины, чтобы она не вызывала скольжение буксы относительно боковины, и переменным шунтирующим резистором  $R_{ш1}$  производится балансировка моста и тем самым осуществляется компенсация изменений сопротивления рабочего датчика вследствие действия продольной силы два. В этом случае отсутствуют сила 1 и вызываемые ею деформации рабочего датчика. После этого, домкратом прикладывается сила один только к хоботу боковины так, как бы она прикладывалась от буксы. При этом будет отсутствовать

сила два и вызываемые ею деформации рабочего датчика  $R$  и компенсационного  $K_2$ . В этом случае будут иметь место только деформации этих датчиков, вызываемые силой один. С помощью переменного резистора  $R_{ш2}$  балансируется мост и производится компенсация влияния силы один на деформации рабочего датчика и датчика  $K_2$ .

Таким образом, описанная выше схема измерения вертикальных сил, действующих на боковину со стороны буксы, позволяет компенсировать влияние продольных сил на результаты измерений вертикальных сил и осуществлять достаточно точно измерение вертикальных сил и анализ устойчивости движения вагона во время действия продольных сил.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Стамблер Е.Л. и др., Расчёты и испытания тяжеловесных поездов. -М.: Транспорт, 1986. - 268 с.
2. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества, М.,1995, РД 24.050.37.095
3. Ушкалов В.Ф., Ромен Ю.С., Завертуляк А.В., Рубан В.И. О влиянии горизонтальных продольных усилий в боковой раме тележки на показатели вертикальной динамики грузового вагона // Тези Міжнар. конф. "Проблеми механіки залізничного транспорту". – Д.: РВВ ДІТ. – 2004. -С.173.
4. Манашкин Л.А., Мямлин С.В. Об измерении вертикальных сил в тележках грузовых вагонов // Тези Міжнар. конф. "Проблеми механіки залізничного транспорту". – Д.: РВВ ДІТ. – 2004. -С.115.