

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПОДВЕШИВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ТИПА ДСЗ

В работе представлен анализ системы подвешивания электровоза типа ДСЗ на основе структурных схем.

*Ключевые слова:* структурные схемы, структурный анализ, электровоз типа ДСЗ, лишние связи

Начиная с 1994 года отечественные производители подвижного состава по заказам Укрзалізнични разработали и поставили на производство целый ряд новых грузовых и пассажирских вагонов, локомотивов, электропоездов и дизель-поездов [1]. Среди них – грузо-пассажирский электровоз переменного тока типа ДСЗ с асинхронным приводом. Опытный образец электровоза был представлен для проведения приемочных испытаний в 2003 году. Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава ДИИТа (ОНИЛ ДППС) провела ходовые прочностные испытания электровоза ДСЗ-001 [2].

Электровоз имеет две двухосные тележки. Подвешивание кузова – люлечное, восьмиточечное (в тележке – четырехточечное) с параллельно расположенными гидроамортизаторами, работающими в вертикальном и горизонтальной направлениях. Кузов через люлечные подвески подвешен к промежуточным балкам, которые соединены с жесткой рамой тележки в горизонтальном поперечном направлении при помощи ширнрно-стержневых связей с упруго-диссипативными элементами одностороннего действия, работающими только на сжатие. Между рамой тележки и промежуточными балками размещены пружины, которые воспринимают вертикальную нагрузку.

Поскольку электровоз представляет собой систему твердых тел, то его можно отнести к таким понятиям как механизм. Вообще говоря, строением механизма определяются такие его важнейшие характеристик, как виды осуществляемых движений, способы их преобразования, число степеней свободы. Формирование механизма сопровождается наложением связей, а правильное их распределение в строении механизма в значительной степени предопределяет надежность его эксплуатации. Поэтому требования к механизму – выполнять заданные функции и сохранять заданные параметры в установленных пределах в течение всего периода эксплуатации – выдвигают задачу о проектировании механизмов оптимальной структуры [3].

В 1951 году профессор Л. Н. Решетов пришел к выводу, что за немногими исключениями следует применять только механизмы без избыточных связей. Исключения были вызваны тем, что не были найдены нужные структурные схемы. В настоящее время для большинства «исключений» такие схемы найдены. Принцип статической определенности позволяет научно обосновать, какие и где надо применять кинематические пары в механизме. А чтобы создать механизмы без избыточных связей необходимо разработать их структурные схемы [4, 5].

В данной работе рассмотрены соединения элементов электровоза типа ДСЗ с точки зрения структурного анализа системы его подвешивания на предмет наличия лишних связей. Такие механизмы позволяют уменьшить допуски на изготовление, уменьшить трудоемкость, удешевить производство и повысить надежность машин [4]. В отдельных случаях упрощается конструкция и увеличивается прочность конструкции.

В связи с наличием линейных и угловых смещений в соединениях электровоза, неточностей изготовления звеньев структурной схемы нарушаются условия плоского движения механизма. Поэтому следует рассматривать систему (с точки зрения статики и динамики) как пространственную, поскольку она индифферентна к деформациям деталей и рессорного подвешивания. Как пространственный механизм соединения элементов электровоза не должны испытывать стеснений в движении, то есть при структурном синтезе вид кинематических пар необходимо подбирать так, чтобы детали соединения могли приспособляться к изменениям положения опорных точек звеньев при изменении их взаимного расположения. Это возможно в случае создания статически определенного механизма, то есть создания (по возможности) соединений без лишних связей.

Число лишних связей  $q$  определим по формуле А.П. Малышева [4] (для пространственной схемы):

$$q = W - 6n + 5p_1 + 4p_2 + 3p_3 + 2p_4 + p_5, \quad (1)$$

где  $W$  – число степеней подвижности системы;  $n$  – число подвижных звеньев;  $p_1, \dots, p_5$  – род кинематических пар.

В соединениях электровоза конструкторы предусмотрели шарнирные подшипники, которые имеют три угловых перемещения.

В работе [6] был проведен структурный анализ связей тележки электровоза с кузовом, который показал правильность подбора связей между рамами тележек и кузова, что создает надежность работы системы в целом.

В данной работе произведен более общий анализ системы от колес электровоза до рамы кузова (рис. 1).

Примем прямоугольную систему координат, представленную на рис. 1. Такой выбор системы координат дает возможность рассматривать только одну параллельно расположенную сторону подвески. Это сделано для того, чтобы не загромождать рисунок. На рис. 1 в верхней части показаны связи левой стороны соединения рамы тележки электровоза с рамой кузова, а в нижней части от оси  $x$  расположены связи между колесными парами и рамой тележки. В скобках в обеих частях рис. 1 рядом с цифрой подвижного звена приведена цифра параллельно расположенной стороны подвижных звеньев.

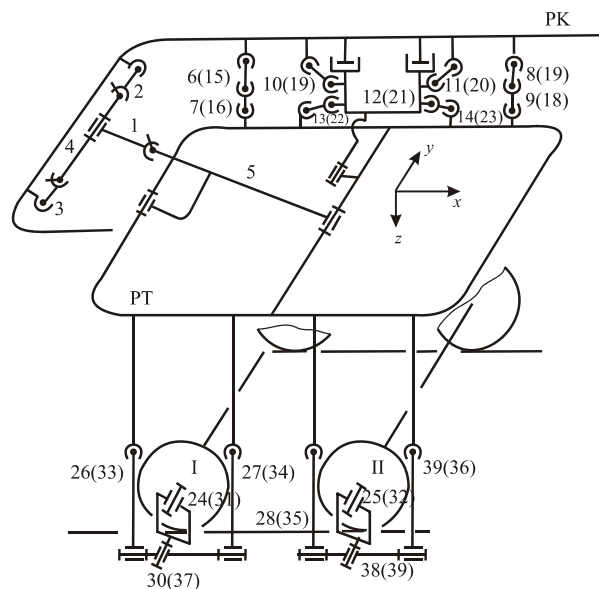


Рис. 1. Механическая система соединений электровоза типа ДСЗ

Кинематические соединения между рельсами и колесной парой могут быть двойками:

- если колесная пара не прижата гребнем к рельсу, то кинематическая связь будет пятого рода – наложено одно линейное условие связи по оси  $z$ ;
- если колесная пара прижата гребнем к рельсу, то будет соединение четвертого рода – наложено одно линейное условие по оси  $z$  и одно линейное условие по оси  $y$ .

Система должна обладать следующими подвижностями: игра рессор (линейные перемещения рамы кузова по оси  $z$ , угловые перемещения вокруг оси  $x$  и  $y$ ); вращение рамы кузова относительно люлечного подвешивания; угловые перемещения промежуточных балок вокруг оси  $x$  и  $y$  и их линейные перемещения по оси  $y$  и  $z$ . Всего система имеет  $11+10=21$  подвижность, то есть  $W=21$ . Число звеньев в системе  $n=PT+PK+I+II+39=43$ .

Запишем кинематические пары рассматриваемого механизма:

- $p_1$ : 1–4, 5–PT, 5'–PT, 12–PT,  
21–PT, 26–30, 33–37, I–24, I–33,  
24–30, 31–37, 27–30, 34–37, 28–38,  
35–39, II–25, II–32,  
25–38, 32–39, 29–38, 36–39;
- $p_2$ : 6–7, 8–9, 15–16,  
17–18, 3–4, 2–4, 1–5;
- $p_3$ : PK–2, PK–3, PK–6, PK–15,  
PK–10, PK–19, PK–11,  
PK–20, PK–8, PK–17, 12–10,  
21–19, 12–13, 21–22, 12–11,  
21–20, 12–14, 21–23, PT–7,  
PT–16, PT–13, PT–22, PT–14,  
PT–23, PT–9, PT–18, PT–26,  
PT–33, PT–27, PT–34,  
PT–28, PT–35, PT–29, PT–36;
- $p_4$ : PK–12, PK–12', PK–21, PK–21'.

Следовательно,  $p_1 = 21$ ,  $p_2 = 7$ ,  $p_3 = 34$ ,  $p_4 = 4$ . Подставив все значения в формулу (1), подсчитаем число лишних связей  $q$ :

$$q = 21 - 6 \cdot 43 + 5 \cdot 21 + 4 \cdot 7 + 3 \cdot 34 + 2 \cdot 4 = 6.$$

В работе [6], где рассмотрены связи между рамой кузова и рамой тележки, сделаны выводы, что связи между ними выбраны правильно, т.е. лишних связей нет. Вернемся к определению кинематических пар. Букса на шейке оси колесной пары смонтирована из двух цилиндрических роликовых однорядных подшипников, что четко представляет собой вращательную кинематическую пару. Следовательно, кинематические пары  $I-24$ ,  $I-31$ ,  $II-31$ ,  $II-32$  необходимо отнести к  $p_1$ . Кинематические пары  $26-30$ ,  $33-37$ ,  $27-30$ ,  $34-37$ ,  $24-30$ ,  $31-37$ , как и  $28-38$ ,  $33-39$ ,  $36-38$ ,  $36-39$ ,  $25-38$ ,  $32-39$ , являются вращательными кинематическими парами.

Относительно кинематических пар люечевого подвешивания с участием пружин:  $PT-26$ ,  $PT-33$ ,  $PT-27$ ,  $PT-34$ ,  $PT-28$ ,  $PT-35$ ,  $PT-29$ ,  $PT-38$  можно рассматривать одновременно и как  $p_3$ , и как  $p_4$ , у них положено только две связи.

Тогда количество кинематических пар соответствующего рода составляет  $p_1 = 21$ ,  $p_2 = 7$ ,  $p_3 = 26$ ,  $p_4 = 12$ , а число лишних связей в этом случае

$$q = 21 - 6 \cdot 43 + 5 \cdot 21 + 4 \cdot 7 + 3 \cdot 26 + 2 \cdot 12 = -2.$$

Электровоз – единица подвижного состава, детали которой имеют угловые и линейные перемещения, и при вписывании в кривые участки пути, при различных динамических нагруз-

ках, возможно заземление (выключение) соединений, то есть переход одной кинематической пары в другую, что выше было показано. Конструкторы же для исключения заземлений в кинематических парах (особенно вращательных) предусмотрели систему их смазки.

В конечном счете, необходимо отметить, что система подвешивания электровоза типа ДСЗ спроектирована без лишних связей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергиенко, Н. И. Решение проблем подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики [Текст] / Н. И. Сергиенко // Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 40–46.
2. Динамика и прочность электровоза типа ДСЗ [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вестник ВЭЛНИИ. – 2004. – № 2. – С. 170–182.
3. Теория механизмов и машин [Текст] : учеб. для вузов / К. В. Фролов [и др.]; под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.
4. Решетов, Л. Н. Самоустанавливающиеся механизмы [Текст] : справочник / Л. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
5. Кожевников, С. Н. Основания структурного синтеза механизмов [Текст] / С. Н. Кожевников. – К.: Наук. думка, 1979. – 189 с.
6. Панасенко, В. Я. К вопросу структурного анализа тележки локомотива [Текст] / В. Я. Панасенко, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Придніпровський наук. вісник. Машинобудування та техн. науки. – Д.: Наука і освіта, 1997. – № 35 (46). – С. 25–26.

Поступила в редколлегию 16.11.2011.  
Принята к печати 18.11.2011.

В. Я. ПАНАСЕНКО, І. В. КЛИМЕНКО

## СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПІДВІШУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА ТИПУ ДСЗ

У роботі подається аналіз системи підвішування електровоза типу ДСЗ за допомогою структурних схем.  
*Ключові слова:* структурні схеми, структурний аналіз, електровоз типу ДСЗ, зайві зв'язки

V. Ya. PANASENKO, I. V. KLIMENKO

## THE STRUCTURED ANALYSIS OF THE SYSTEM OF THE JOINING ELECTRIC LOCOMOTIVE OF THE TYPE DS3.

Analysis of the suspension system of the electric locomotive of type DS3 by means of block diagrams is presented in the paper.

*Keywords:* block diagrams, structural analysis, electric locomotive of type DS3, extra links