

УДК 624.07

Н.Х. Раковская<sup>1</sup>, Б.С. Ковальский<sup>2</sup><sup>1</sup>Международный Славянский университет, Харьков<sup>2</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКИ НА КОЛЕСА ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК**

На основе анализа работы силовых элементов одного из вариантов модели безбалансирной грузовой тележки (описываемых системой обыкновенных дифференциальных уравнений) делается вывод о том, какими именно механическими характеристиками должны обладать системы подвески, чтобы обеспечивать равномерную нагрузку на колеса при наличии неровностей рельсового пути. Приводятся основы расчетов силовых элементов, обеспечивающих требуемые их характеристики.

*грузовая тележка, неравномерности рельсового пути*

**Введение**

В ряде работ автора [1 – 4] было проведено обоснование возможности разработки модели безбалансирных многоосных железнодорожных агрегатов, а также основ расчета таких конструкций, обеспечивающих равномерную нагрузку на колеса. В указанных выше работах также отмечалась важная роль системы подвески, обеспечивающая одинаковую нагрузку на колеса при наличии неровностей рельсового пути. Вопросы, связанные с возможными конструктивными решениями систем подвески и основы их расчета рассматриваются в дальнейшем в данной статье.

**Анализ литературы.** В литературе, посвященной многоосным агрегатам, передвигающимся по рельсовому пути, рассматриваются конструкции, содержащие, как правило, многоярусные системы балансиров, обеспечивающие равномерную нагрузку на колеса в статике даже при наличии неровностей рельсового пути. В связи с этим система подвески в таких конструкциях рассматривается с точки зрения снижения динамических нагрузок при движении многоосных агрегатов. Поэтому в существующих многоосных балансирных транспортных конструкциях проблема подвески, как важной составной части, обеспечивающей равномерную нагрузку на колеса, вообще не возникает и поэтому такие задачи в литературе, связанные с многоосными железнодорожными агрегатами, практически отсутствуют.

**Постановка проблемы.** В связи с существующими трудностями, связанными с транспортировкой сверхтяжелых грузов с помощью железнодорожных многоосных многоярусных тяжелых транспортных средств, возникает проблема перехода на безбалансирные многоосные транспортные средства.

При этом важной составной частью общей проблемы создания безбалансирных агрегатов, обеспечивающих равномерную нагрузку на колеса, является разработка моделей конструкции и основ расчета специальных систем подвески для безбалансирных многоосных агрегатов, передвигающихся по рельсовым путям с неровностями.

**Основная часть**

В [1 – 4] было показано, что расчет напряженно-деформированного состояния многоосной безбалансирной грузовой тележки, взаимодействующей с рельсовым полотном на упругом винклеровом основании, может быть осуществлен в результате решения системы дифференциальных уравнений (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dx^2} \left[ EI_1(x) \frac{d^2 U_1(x)}{dx^2} \right] &= \sum_{i=1}^N R_{12}^i \delta(x - x_i) - P_0 \delta \left( x - \frac{1}{2} \right); \\ EI_2(x_i) \frac{dU_2(x_i, y)}{dy} &= -R_{12}^i; \quad (i=1, 2, \dots, N); \\ EI_3(x) \frac{d^4 U_3(x)}{dx^4} &= -\sum_{i=1}^N R_{34}^i \delta(x - x_i) - \sum_{i=1}^N R_{12}^i \delta(x - x_i); \\ EI_4(x_i) \frac{dU_4(x_i, y)}{dy} &= -R_{34}^i(x_i); \quad (i=1, 2, \dots, N); \\ EI_5 \frac{d^4 U_5(x)}{dx^4} + K_6 U_5(x) &= -\sum_{i=1}^N R_{34}^i(x_i). \end{aligned} \right\} (1)$$

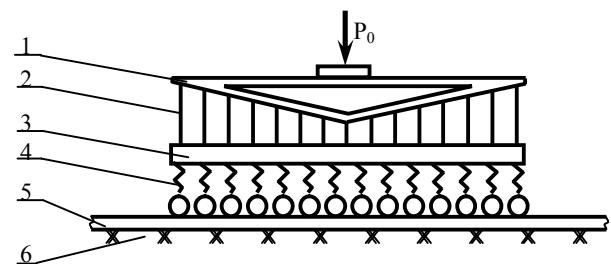


Рис. 1. Схема модели многоосного безбалансирного тяжелого агрегата: 1 – грузовая балка; 2 – система упругих элементов; 3 – силовая балка; 4 – упругая подвеска колес; 5 – рельсовое полотно; 6 – упругое основание рельсового пути

Если потребовать, чтобы нагрузки на колеса  $R_{34}^i$  были одинаковыми и равными  $R_0 = P_0 / N$ , и

$$R_{12}^i = R_{34}^i = R_0 = P_0 / N, \quad (2)$$

где  $P_0$  – внешняя нагрузка;  $N$  – число колес, воспринимающую нагрузку  $R_0$ , то в этом случае система уравнений (1) распадается на  $(2N + 3)$  независимых уравнений. Отмеченное обстоятельство, во-первых,

резко упрощает решение системы (1) и, во-вторых, выражает требование равномерного нагружения колес даже при наличии неровностей рельсового пути.

Наряду с системой уравнений (1) и надлежащими граничными условиями должны выполняться и условия совместности перемещений в местах контакта силовых элементов грузовой тележки, т.е.

$$U_j(x_i) = U_{j+1}(x_i), \quad (j=1...5). \quad (3)$$

Условия совместности перемещений (3) можно записать в следующем виде, если потребовать, чтобы перемещение силовой балки (3) (рис. 1) равнялось бы нулю. В этом случае приходим к следующим двум условиям:

$$u_1(x_i) = u_2(x_i); \quad (4)$$

$$u_4(x_i) = u_5(x_i). \quad (5)$$

Второе уравнение системы (1) в результате интегрирования можно представить в виде

$$\frac{EF_2(x_i)}{R_0 l_2} = \frac{1}{U_2(x_i)}, \quad (i=1,2,...N). \quad (6)$$

С учетом (4) уравнение (6) можно представить следующим образом

$$\tilde{q}(x_i) = \frac{EF_2(x_i)}{R_0 l_2} = \frac{1}{U_1(x_i)}, \quad (i=1,2,...N). \quad (7)$$

Таким образом, если определены перемещения  $U_1(x_i)$  грузовой балки, то по (7) определяем требуемые приведенные жесткости  $\tilde{q}(x_i)$  упругих элементов (2) рис. 1, при которых обеспечивается равномерная нагрузка на все колеса специальной грузовой тележки (при отсутствии неровностей рельсового пути).

Следует отметить, что в том случае, если характеристика подвески колес «мягкая» и имеет вид, приведенный на рис. 2 и если предположить, что рабочая точка А соответствует номинальной нагрузке на колесо  $R_0$ , то при движении по рельсовому пути с неровностями, величина которой находится в пределах  $\Delta U$  изменения нагрузки на колесо  $\Delta R$  может практически быть принято равным нулю (рис. 2). Следовательно, в этом случае искривления силовой балки 3 (рис. 1) будет отсутствовать. А это обстоятельство обеспечивает трансформацию внешней силы  $P_0$  (рис. 1) в ряд одинаковых по величине сил  $R_0$ , нагружающих силовую балку.

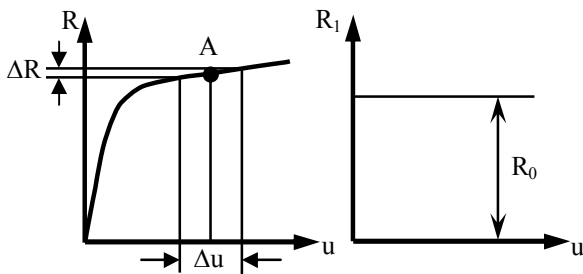


Рис. 2. Мягкая характеристика упругой подвески колес

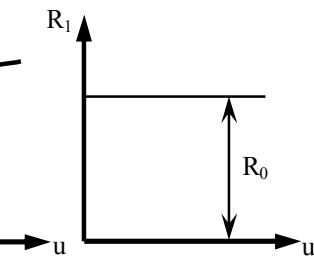


Рис. 3. Зависимость нагрузки, действующей на колесо (при наличии мягкой подвески) от величины просадки колеса

Из приведенных рассуждений следует, что для безбалансирных грузовых многоосных тележек верхняя часть конструкции (до силовой балки 3 (рис. 1)) обеспечивает нагружение колес равномерной системой сил  $R_0$  в том только случае, если отсутствует неровности рельсового пути.

При наличии неровностей рельсового пути система подвеска должна быть выполнена таким образом, чтобы во всех случаях подчеркивать нагрузку на колеса близкой к постоянной (рис. 3).

Ниже будет показано, что применение компенсации нагрузки на колесо при ее просадке может быть эффективно реализовано при использовании специальной активной системы компенсации. В качестве примера обеспечения мягкой подвески коле за счет применения активной системы компенсации просадки рассмотрим схему, изображенную на рис. 4.

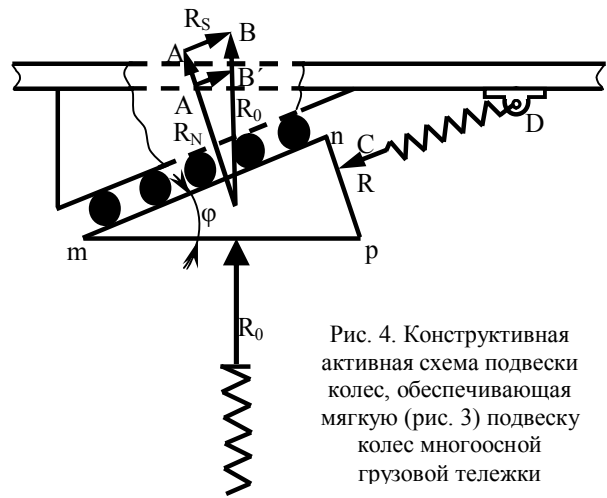


Рис. 4. Конструктивная активная схема подвески колес, обеспечивающая мягкую (рис. 3) подвеску колес многоосной грузовой тележки

На трехгранную призму  $mnp$ , опирающуюся по грани  $mn$  на ряд цилиндрических роликов, действует вертикальная сила  $R_0$  на грань  $pr$  со стороны вертикального силового элемента, связанного с колесом грузовой тележки. Одновременно с силой  $R_0$  на грань  $pr$  действует сила  $R$  со стороны наклонного силового элемента, обеспечивающего равновесие трехгранной призмы при отсутствии неровностей рельсового пути. При этом, очевидно, выполняется условие равновесия призмы в направлении грани  $mn$

$$R_S = R_0 \sin \varphi = R. \quad (8)$$

В случае просадки колеса усилие  $R_0$  в вертикальном силовом элементе снижается. В результате происходит снижение силы  $R_S$  и за счет действия со стороны пружины  $CD$  трехгранная призма начнет по каткам перемещаться в левую сторону, увеличивая тем самым сжатие вертикального силового элемента. Если усилие наклонного силового элемента  $CD$  при увеличении длины меняется мало, то трехгранная призма займет новое положение, при котором усилие  $R'_S = R$  примет значение близкое к исходному. Но при этом близким к исходному, т.е. близким к  $R_0$ , окажется и усилие в вертикальном силовом элементе, связанном с колесом многоосной

грузовой тележки. Следовательно, при относительно небольших искривлениях рельсового пути рассматриваемая система позволяет обеспечить практически постоянную нагрузку на колесо (рис. 3).

### Выводы

Проведенные в статье расчеты подтвердили возможность создания безбалансирных многоосных железнодорожных агрегатов и обеспечения равномерной нагрузки на колеса даже при наличии неровностей рельсовых путей. Этот результат оказался возможным благодаря применению специальной мягкой активной подвески колес.

В статье приводится пример активной подвески колес, обеспечивающей практически неизменную нагрузку на колеса даже при наличии неровностей рельсового пути.

### Список литературы

1. Раковская Н.Х. Математические модели безбалансирных сверхтяжелых специальных агрегатов. – Х. МОУ, 2003. – 186 с.
2. Раковская Н.Х., Раковский Х.В. Контактное взаимодействие «колесо-рельс» безбалансирных многоосных тяжелых агрегатов. – Х.: ХУВС, 2006. – 327 с.
3. Раковский Х.В., Раковская-Баимакова Н.Х. Ходовая часть сверхтяжелых специальных агрегатов-рельсы-основания пути. – Х.: МСУ, 1998. – 84 с.
4. Раковская Н.Х. От балансирных к безбалансирным высоконагруженным специальным железнодорожным агрегатам // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2006. – Вип. 2. – С. 40-49.

Поступила в редколлегию 11.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.