

например, имевшим место после «ускоренного» допуска на железные дороги Украины электропоездов HRCS2 фирмы Hyundai Rotem (Южная Корея). Вместе с тем, удешевления работ можно без вреда для дела достичь, ограничено применяя значительно менее затратные компьютерные эксперименты методами математического моделирования. В ходе компьютерного моделирования путём многовариантных расчётов целесообразно выявить наиболее сложные условия и режимы функционирования ВР с тем, чтобы на следующем этапе – в условиях опытной эксплуатации – исследовать преимущественно найденные на предыдущем этапе режимы.

Изучение профессиональной литературы показало, что до настоящего времени матмодель функционирования ВР системы КЕс отсутствует. Вместе с тем, можно утверждать, что создание математической модели внутренних газодинамических процессов ВР системы КЕс актуально и с технической, и с экономической точек зрения.

При переходе от натуральных экспериментов к численным на первое место выходят вопросы адекватности матмодели и её достоверности. Для «настройки» матмодели предусмотрено использовать натурные эксперименты на созданном и изготовленном в лаборатории тормозов кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ГЭТУТ стенде, конструкция которого запатентована на Украине (пат. 57332, www.uipv.org).

УДК 656.212.6.073.22.002.5

## **ДИНАМИКА СИСТЕМЫ «ЯРУСЫ ГРУЗА – ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ – ПЛАТФОРМА» ПРИ СОУДАРЕНИИ ВАГОНОВ**

*И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основной причиной, приводящей к разрушению и повреждению, как перевозимых грузов, так и самих вагонов, является нарушение режимов эксплуатации железнодорожного подвижного состава при сортировочной работе. Это указывает на необходимость проведения работ по оснащению существующих вагонов оборудованием, позволяющим уменьшить динамические силы, действующие как на вагон, так и на перевозимый груз путём дополнительного поддрессирования груза относительно вагона в продольном направлении.

Цель работы – выбор общей схемы для расчета крепления ярусов груза на железнодорожной платформе.

При разработке устройства для размещения и крепления ярусов груза на железнодорожной платформе важным этапом является выбор расчетной схемы, позволяющей оценить силы, действующие на груз, платформу и элементы крепления. Платформа с грузом представляет механическую систему со многими степенями свободы. Для исследований эту сложную систему заменим более простой, соответствующей поставленной цели.

В связи с этим при рассмотрении процесса соударения платформы, загруженной  $k$  ярусами груза, с группой из  $n$  неподвижных вагонов (далее называемых «стенкой»), целесообразно ввести следующие основные предпосылки и допущения (рисунок 1):

- вагоны, платформа с тележками и груз считаются абсолютно твердыми телами;
- движение рассматривается на прямом горизонтальном участке пути;
- ярусы груза размещены на платформе симметрично относительно ее продольной и поперечной плоскостей симметрии;
- упругие элементы устройства крепления груза на платформе имеют линейные характеристики;
- откат платформы после соударения ограничивается автосцепными устройствами;
- зазоры в междувагонных связях отсутствуют;
- массы вагонов, платформы и груза сосредоточены в их центрах масс;
- центры масс всех тел перемещаются по параллельным прямым;
- вертикальными, а также угловыми перемещениями вагонов, платформы и груза пренебрегаем;

– начало отсчёта каждой из координат  $x_{gi}$  ( $x_{vj}$ ), определяющих положение элементов системы, соответствует моменту соприкосновения платформы с вагонами стенки.

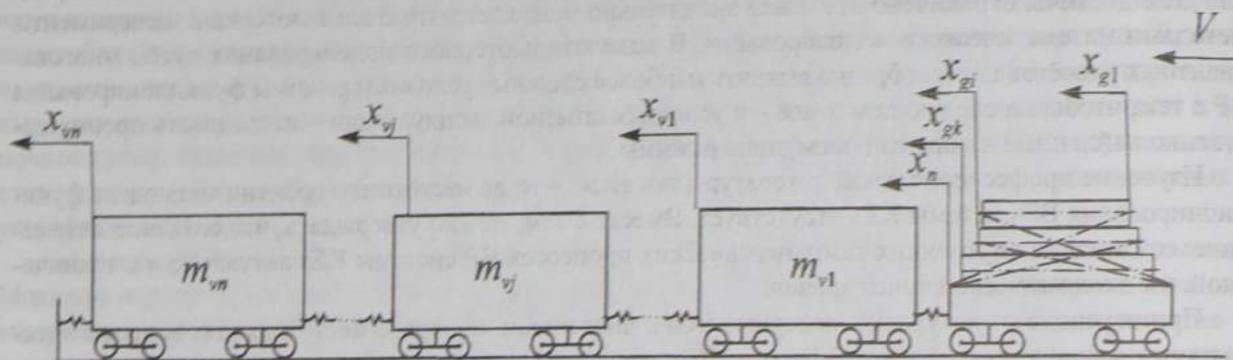


Рисунок 1 – Схема соударения платформы, нагруженной ярусами груза, с группой неподвижных вагонов

Движение  $k$  ярусов груза, платформы и  $n$  вагонов стенки описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 m_{g1} \ddot{x}_{g1} + T_{g1} + F_{g1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{g1} - \dot{x}_{g2}) &= 0; \\
 \dots \\
 m_{gi} \ddot{x}_{gi} + T_{gi} - F_{gi-1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gi-1} - \dot{x}_{gi}) + F_{gi} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gi} - \dot{x}_{gi+1}) &= 0; \\
 \dots \\
 m_{gk} \ddot{x}_{gk} + T_{gk} - F_{gk-1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk-1} - \dot{x}_{gk}) + F_{gk} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk} - \dot{x}_p) &= 0; \\
 m_p \ddot{x}_p - T_p - F_{gp} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk} - \dot{x}_p) + R_{v1} &= 0; \\
 m_{v1} \ddot{x}_{v1} - R_{v1} + R_{v2} &= 0; \\
 \dots \\
 m_{vj} \ddot{x}_{vj} - R_{vj} + R_{vj+1} &= 0; \\
 \dots \\
 m_{vn} \ddot{x}_{vn} - R_{vn} + R_{vn+1} &= 0,
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $m_{g1}$ ,  $m_{gi}$ ,  $m_{gk}$ ,  $m_p$  – масса соответственно первого,  $i$ -го,  $k$ -го яруса груза ( $i = 2, 3, \dots, k$ ) и платформы;  $m_{v1}$ ,  $m_{vj}$ ,  $m_n$  – масса соответственно первого,  $j$ -го,  $n$ -го вагона ( $j = 2, 3, \dots, n$ );  $\ddot{x}_{g1}$ ,  $\ddot{x}_{gi}$ ,  $\ddot{x}_{gk}$ ,  $\ddot{x}_p$ ,  $\ddot{x}_{v1}$ ,  $\ddot{x}_{vj}$ ,  $\ddot{x}_{vn}$  – продольное ускорение соответственно первого,  $i$ -го,  $k$ -го яруса груза, платформы, первого,  $j$ -го,  $n$ -го вагона «стенки»;  $T_{g1}$ ,  $T_{gi}$ ,  $T_{gk}$  – продольная горизонтальная сила в упругих элементах крепления соответственно первого,  $i$ -го,  $k$ -го яруса груза;  $T_p$  – суммарная продольная горизонтальная сила в упругих элементах крепления ярусов груза к платформе;  $F_{g1}$ ,  $F_{gi}$ ,  $F_{gk}$  – силы сухого трения между ярусами груза;  $R_{v1}$ ,  $R_{vj}$ ,  $R_{vn}$  – силы в междувагонных связях.

Система уравнений (1) справедлива при наличии в устройстве поперечной обвязки и промежуточных опор между ярусами груза. В этом случае поперечную обвязку и промежуточные опоры следует рассматривать как соответствующие ярусы груза.

Для выполнения расчетов возможных схем крепления грузов, в качестве начальных условий, можно принять, что при  $t = 0$

$$\begin{aligned}
 x_{g1}(0) = \dots x_{gi}(0) = \dots x_{gk}(0) = x_p(0) = x_{v1}(0) = \dots x_{vj}(0) = \dots x_{vn}(0) &= 0; \\
 \dot{x}_{g1}(0) = \dots \dot{x}_{gi}(0) = \dots \dot{x}_{gk}(0) = \dot{x}_p(0) = v_0; \dot{x}_{v1}(0) = \dots \dot{x}_{vj}(0) = \dots \dot{x}_{vn}(0) &= 0,
 \end{aligned}$$

где  $v_0$  – начальная скорость соударения, соответствующая скорости движения платформы с грузом в момент соприкосновения с первым вагоном стенки.

Разработанная модель позволит выбрать рациональную схему крепления груза.