

Заключение. Реализована осесимметричная краевая задача теории упругости для однородного длинного цилиндра, который подвергнут радиационному, температурному и механическому воздействиям.

Полученное НДС ТВЭЛа позволяет оптимизировать его геометрические и физические параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Оландер, Д.** Теоретические основы тепловыделяющих элементов ядерных реакторов / Д. Оландер. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1982. – 612 с.

2 **Куликов, И. С.** Прочность тепловыделяющих элементов быстрых газоохлаждаемых реакторов / И. С. Куликов, Б. Е. Тверковкин. – Минск: Наука и техника, 1984. – 103 с.

3 **Тимошенко, С. П.** Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

A. I. VEREMEYCHIK, V. M. HVISEVICH

THE AXISYMMETRIC STRESS-STRAIN STATE OF THE LONG CYLINDER AT THE THERMORADIATION AND MECHANICAL LOADING

There is considered the problem of stress and strain determination for the homogeneous infinitely long solid cylinder under the actions of radiation, temperature loading and external pressure. The system of the equilibrium differential equations in movements was obtained and analytically solved. There were determined the values of stress and strain component depending on the coordinate. Their dependence on time of radiation and material properties was investigated.

Получено 23.10.2013

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 7. Гомель, 2013**

УДК 629.44

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

СНИЖЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ

Рассмотрено устройство для размещения и крепления груза в три яруса на железнодорожной платформе. Методом математического моделирования исследовано влияние жесткости упругих элементов продольного крепления груза к платформе на величину динамических сил в элементах междувагонных связей при соударении вагонов. Дан сравнительный анализ динамических показателей в зависимости от коэффициента трения и жесткости упругих элементов крепления груза.

К основным направлениям повышения надежности вагонов при транспортировании грузов можно отнести модернизацию вагонного парка, применение устройств для снижения динамических воздействий при соударении вагонов, а также совершенствование методики расчета крепления грузов [1, 2]. Вероятность безотказной работы элементов междувагонных связей определяется распределением сил, отражающим совокупность эксплуатационных нагрузок (включая маневровые операции), передаваемых через автосцепку. Использование многооборотных устройств с дополнительными амортизаторами в направлении движения вагона способствует снижению динамических воздействий как на перевозимый груз, так и на подвижной состав в процессе эксплуатации, что позволяет повысить надежность его эксплуатации.

Целью исследований является анализ динамических сил, действующих на упругие элементы междувагонных связей, при соударении вагонов.

Определение динамических сил, действующих на упругие элементы междувагонных связей, а также элементы крепления груза к раме платформы, методом математического моделирования базируется на выборе расчетной схемы [3–5]. В принятой для проведения исследований схеме (рисунок 1) груз размещен на железнодорожной платформе в три яруса, а реквизиты крепления содержат упругие элементы и оснащены натяжными устройствами. Нижний ярус груза закреплен на раме платформы, а каждый последующий ярус груза крепится к предыдущему. В рассматриваемой математической модели процесса соударения груженой платформы с группой из трех неподвижных вагонов все тела считаются абсолютно твердыми, а элементы крепления ярусов груза и междувагонных связей обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики. Зазоры в междувагонных связях отсутствуют. Все силы трения приложены в продольной вертикальной плоскости. Движение механической системы рассматривается в продольной вертикальной плоскости на прямом горизонтальном участке пути.

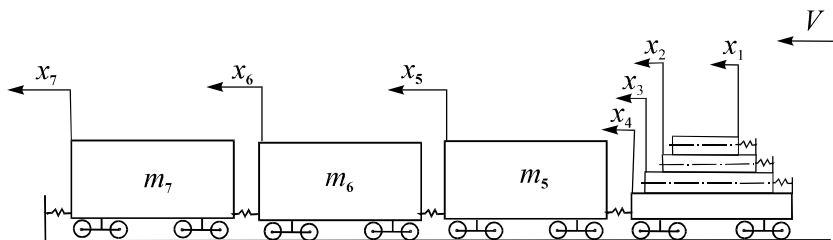


Рисунок 1 – Расчетная схема

Обозначим массы и продольные линейные перемещения: верхнего яруса груза m_1 , x_1 ; среднего яруса груза m_2 , x_2 ; нижнего яруса груза m_3 , x_3 ; платформы m_4 , x_4 ; трех вагонов стенки $m_5 \dots m_7$, $x_5 \dots x_7$. Начало отсчета каждой из координат x_i , определяющих положение элементов системы, соответству-

ет моменту соприкосновения платформы с вагоном стенки. Таким образом, при принятых допущениях рассматриваемая система будет иметь семь независимых координат.

Применим способ Германа – Даламбера и запишем систему дифференциальных уравнений, отражающих движение ярусов груза, платформы и трех вагонов:

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) + f_1 m_1 g \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0; \\
 m_2 \ddot{x}_2 - c_1(x_1 - x_2) - f_1 m_1 g \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_2(x_2 - x_3) + \\
 + f_2(m_1 + m_2)g \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) &= 0; \\
 m_3 \ddot{x}_3 - c_2(x_2 - x_3) - f_2(m_1 + m_2)g \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_3(x_3 - x_4) + \\
 + f_3(m_1 + m_2 + m_3)g \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) &= 0; \\
 m_4 \ddot{x}_4 - c_3(x_3 - x_4) - f_3(m_1 + m_2 + m_3)g \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + \\
 + c(x_4 - x_5)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_4 - x_5)(\dot{x}_4 - \dot{x}_5))] &= 0; \\
 m_5 \ddot{x}_5 - c(x_4 - x_5)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_4 - x_5)(\dot{x}_4 - \dot{x}_5))] + \\
 + c(x_5 - x_6)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_5 - x_6)(\dot{x}_5 - \dot{x}_6))] &= 0; \\
 m_6 \ddot{x}_6 - c(x_5 - x_6)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_5 - x_6)(\dot{x}_5 - \dot{x}_6))] + \\
 + c(x_6 - x_7)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_6 - x_7)(\dot{x}_6 - \dot{x}_7))] &= 0; \\
 m_7 \ddot{x}_7 - c(x_6 - x_7)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_6 - x_7)(\dot{x}_6 - \dot{x}_7))] + cx_7(1 + \varphi \operatorname{sgn}(x_7 \cdot \dot{x}_7)) &= 0,
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где c_1, c_2, c_3 – коэффициенты жесткости упругих элементов продольного крепления соответственно верхнего, среднего и нижнего ярусов груза; f_1, f_2, f_3 – коэффициенты трения соответственно между грузом верхнего и среднего ярусов, среднего и нижнего ярусов, нижнего яруса и полом платформы; c, φ – соответственно коэффициенты жесткости упругих элементов междувагонных связей и трения; g – ускорение свободного падения.

Численное интегрирование уравнений системы (1) проводилось для диапазона скоростей соударения вагонов 5–9 км/ч. Расчеты выполнены в среде MathCAD.

Результаты расчетов для скорости соударения вагонов 5 км/ч представлены при следующих исходных данных: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $m_4 = 21000 \text{ кг}$; $m_5 = m_6 = m_7 = 84000 \text{ кг}$; $c = 11 \text{ МН/м}$; $\varphi = 0,55$.

В ходе расчетов варьировались такие параметры, как масса груза (m_1, m_2, m_3), коэффициенты жесткости упругих элементов продольного крепления верхнего, среднего и нижнего ярусов груза, коэффициенты трения между грузом верхнего и среднего ярусов, среднего и нижнего ярусов, нижнего яруса и полом платформы.

На рисунке 2 представлены наибольшие значения сил в упругих элементах междувагонных связей, возникающие в процессе соударения вагонов,

при жестком креплении груза к платформе, т. е. при отсутствии продольного смещения груза относительно платформы. Расчеты показывают, что при соударении вагонов наибольшие силы возникают в упругих элементах междувагонной связи платформы с первым вагоном стенки (верхняя кривая на рисунке 2). При массе платформы с грузом 66 т силы в упругих элементах междувагонной связи платформы с первым вагоном стенки превышают силы в упругих элементах междувагонных связей последующих вагонов стенки примерно в 1,8–2,4 раза.

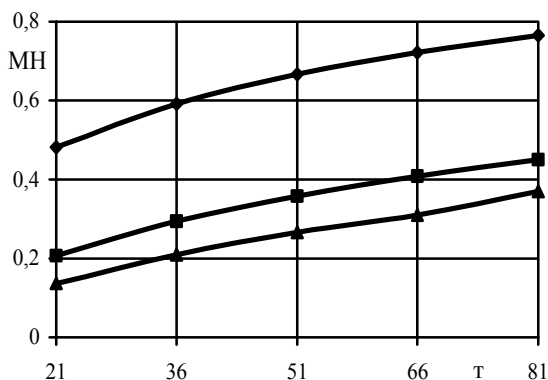


Рисунок 2 – Зависимость сил в упругих элементах междувагонных связей от массы перевозимого груза при соударении вагонов

При массе груза 45 т и массе платформы 21 т наибольшие значения сил в упругих элементах междувагонной связи платформы с первым вагоном стенки, возникающие в процессе соударения вагонов, в зависимости от жесткости упругих элементов крепления груза к платформе представлены на рисунке 3. В рассматриваемом случае ярусы груза скреплены между собой жестко, а упругие элементы крепления допускают продольное смещение груза как единого пакета относительно платформы.

Расчеты показывают, что при увеличении коэффициента трения между грузом и полом платформы от 0,1 (нижняя кривая на рисунке 3) до 0,5 (верхняя кривая на рисунке 3) силы в упругих элементах междувагонной связи увеличиваются примерно на 15 %. При изменении коэффициента жесткости упругих элементов крепления груза к платформе от 1,5 до 9 МН/м изменение силы в упругих элементах междувагонной связи не превышает 1–2 %.

Сопоставление результатов, представленных на рисунках 2 и 3, позволяет утверждать, что при упругом креплении груза к платформе силы в упругих элементах междувагонных связей меньше, чем при жестком креплении груза. При массе груза 45 т это уменьшение силы в упругих элементах междувагонной связи платформы с первым вагоном стенки составляет 130–216 кН

и зависит от коэффициента трения и жесткости упругих элементов крепления груза к платформе.

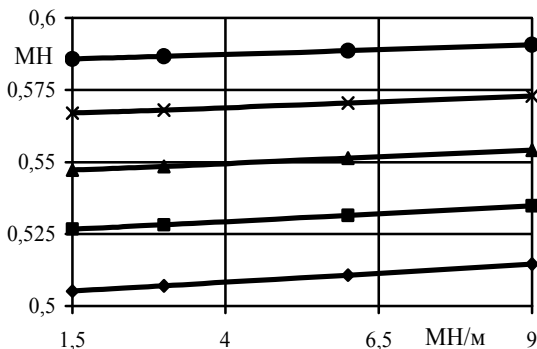


Рисунок 3 – Зависимость сил в упругих элементах междувагонной связи платформы от жесткости упругих элементов крепления груза

Результаты расчетов при упругом креплении ярусов груза одинаковой массы ($m_1 = m_2 = m_3 = 15$ т) к платформе приведены на рисунке 4.

Графики, представленные на рисунках 3 и 4, показывают, что при ярусном креплении груза к платформе уменьшение силы в упругих элементах междувагонной связи платформы с первым вагоном стенки составляет 18,8–24,2 кН при коэффициентах трения $f_1 = f_2 = f_3 = 0,5$ (верхние кривые).

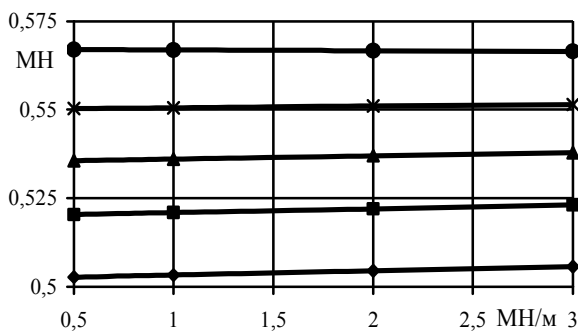


Рисунок 4 – Зависимость сил в упругих элементах междувагонной связи платформы от жесткости упругих элементов крепления ярусов груза

Таким образом, использование устройств с упругим креплением ярусов груза в направлении движения вагона уменьшает динамическое воздействие как на перевозимый груз, так и на элементы междувагонных связей в процессе соударения вагонов, и тем самым способствует повышению надежности вагонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Устич, П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. – М.: ИГ “Вариант”, 1999. – 416 с.
- 2 Расчет вагонов на прочность / С. В. Вершинский [и др.]; под ред. Л. А. Шадура. – М.: Машиностроение, 1971. – 432 с.
- 3 Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов; под ред. С. В. Вершинского. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
- 4 Ворожун, И. А. Оценка динамических сил в элементах крепления труб на железнодорожной платформе / И. А. Ворожун // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2008. – № 1. – С. 60–64.
- 5 Varazhun, I. A. Modeling of the interaction between cargo tiers and flatcar during the collision of cars / I. A. Varazhun, A. V. Zavorotny // Technolog. – 2013. – Roc. 5. – № 4. – P. 195–198.

I. A. VOROZHUN, A. V. ZAVOROTNY

LOADING DECREASE OF CARS WITH CARGO LONGLINE PLACING AND FASTENING

The device for cargo placing and fastening on the railway platform in three tiers was considered. On the base of mathematical modeling it was investigated the influence of longitudinal elastic elements stiffness on the value of the dynamic forces appearing in the elements of connections between railcars for the case of cars collision. A comparative analysis of dynamic parameters depending on the friction coefficient and stiffness of the cargo fastening elastic elements was performed.

Получено 10.09.2013

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 7. Гомель, 2013**

УДК 519.876.2

Д. А. КЛИМОВСКИЙ, Н. А. СМIRHOV

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М. Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МИКРОРОБОТА С ВИБРАЦИОННЫМ ПРИВОДОМ

В работе исследуется математическая модель движения платформы микроробота с вибрационным приводом, реализующим анизотропное трение по контактной поверхности. С помощью математического пакета «Maple» создана программа для моделирования и исследования движения такой платформы.

В настоящее время одной из основных тенденций развития современных технологий является уменьшение размеров компонентов, устройств и машин, входящих в технологические процессы и выполняющих производственные операции. Особое значение имеет рассмотрение движения существ-