

УДК 629.11.012.552.6.001.4

В.В. Кармазина, М.П. Бурхович

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

1. Введение

В настоящее время определение основных выходных характеристик пневмоколесного движителя невозможно без применения методов математического моделирования напряженно-деформированного состояния пневматической шины с учетом влияния на неё эксплуатационных нагрузок и опорной поверхности качения. Для колесных землеройно-транспортных машин сложность определения выходных характеристик пневматических шин усугубляется тяжелыми эксплуатационными условиями: наличием неровностей на опорной поверхности качения [1]. Решение контактной задачи для пневматической шины, взаимодействующей с одиночной неровностью приводит к существенному усложнению математических моделей.

В реальных условиях эксплуатации машин для земляных и дорожных работ применение столь сложных математических моделей затруднено и нецелесообразно. Достаточно определить некоторые выходные характеристики шины (прогиб, площадь пятна контакта) в зависимости от основных эксплуатационных параметров, которые можно определить в условиях предприятия (вертикальная нагрузка на колесо, внутреннее давление, высота неровности и т.п.).

На основании вышеизложенного можно утверждать о необходимости создания инженерной методики для определения основных выходных характеристик пневматических шин землеройно-транспортных машин на основе методов математического моделирования контактного взаимодействия пневмоколесного движителя и опорной поверхности качения.

2. Математическая модель контактного взаимодействия пневматической шины и опорной поверхности

Для решения задачи контактного взаимодействия пневмоколесного движителя и опорной поверхности качения применена модель пневматической шины в виде трехслойной тороидальной анизотропной оболочки, учитывающей линейные перемещения по толщине каждого слоя каркаса [2].

Напряженно-деформированное состояние шины определялось с помощью функционала полной энергии шины:

$$\mathcal{E} = U - W, \quad (1)$$

где U – потенциальная энергия деформации оболочки;

W – потенциал внешних сил, действующих на оболочку.

Для слоистой оболочки с учетом принятых гипотез и уравнений теории оболочек [3] выражение полной энергии запишется так:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int \int_{F_k} \left[\sum_{k=1}^m \int_{h^k} (\sigma_{11}^k \varepsilon_{11}^k + \sigma_{22}^k \varepsilon_{22}^k + \sigma_{33}^k \varepsilon_{33}^k + \sigma_{12}^k \varepsilon_{12}^k + \sigma_{13}^k \varepsilon_{13}^k + \sigma_{23}^k \varepsilon_{23}^k) dx_3 - \right. \\ \left. - 2q_1(u_1 + h_2 \lambda_1) - 2q_2(u_2 + h_1 \lambda_2) - 2(q_3 - q_0)u_3 \right] \times \\ \times A_1 A_2 dx_1 dx_2 + \frac{1}{2} \int \int_{F_c} h_n (\sigma_n \varepsilon_n + \tau_{1n} \gamma_{1n} + \tau_{2n} \gamma_{2n}) A_1 A_2 \cos \alpha dx_1 dx_2, \quad (2)$$

где F_k – поверхность оболочки;

F_c – поверхность оболочки, контактирующей с основанием;

k – номер слоя оболочки ($m = 3$).

В соответствии с принятыми гипотезами и физическими соотношениями выразим функционал полной энергии через деформации и кривизны слоев оболочки пневматической шины:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int [B_{11} e_{11}^2 + B_{66} e_{12}^2 + B_{22} e_{22}^2 + 2B_{12} e_{11} e_{22} + B_{16} (e_{11} \chi_{12} + e_{12} \chi_{11}) + \\ + B_{26} (e_{22} \chi_{12} + e_{12} \chi_{22}) + D_{11} \chi_{11}^2 + D_{66} \chi_{12}^2 + D_{22} \chi_{22}^2 + 2D_{12} \chi_{11} \chi_{22} + \\ + C_1 (\varphi_1 - \lambda_1)^2 + C_2 (\varphi_2 - \lambda_2)^2] dF_k - \int_{F_q} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + q_3 u_3) dF_c, \quad (3)$$

Функции перемещений определялись путем минимизации функционала при помощи численного метода локальных вариаций.

3. Инженерная методика для определения выходных характеристик пневматической шины модели 15,5R38

В процессе эксплуатации пневматических шин машин для земляных и дорожных работ одними из определяющих параметров

работоспособности шины являются максимальный прогиб, h , и площадь пятна контакта, S , шины с опорной поверхностью. При обжатии шины на твердой опорной поверхности величины прогиба и площади пятна контакта зависят от вертикальной нагрузки на шину, Q_3 , внутреннего давления в шине, q , высоты локальной неровности на опорной поверхности, W_k , а также конструкции оболочки шины, в частности, количества слоев брекера, n . Алгебраические выражения для определения прогиба и площади пятна контакта, соответственно, имеют вид:

$$h = f_1(W_k; Q_3; q; n); \quad (4)$$

$$S = f_2(W_k; Q_3; q; n). \quad (5)$$

На примере пневматической шины модели 15,5R38 с помощью математической модели [2, 3] определены расчетные величины максимального прогиба, а также площади пятна контакта при изменении вертикальной нагрузки ($Q_3 = 1000\text{кг}; 2000\text{кг}; 3000\text{кг}$); высоты неровности ($W_k = 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12$ см); внутреннего давления в шине ($q = 0,18; 0,20; 0,24\text{МПа}$) и количества слоев брекера ($n = 4$ и 6 слоев).

На рисунках 1, 2 представлены графические зависимости максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 от высоты одиночной неровности при различных величинах вертикальной нагрузки, внутреннего давления $0,2$ МПа а также при четырех и шести слоях брекера.

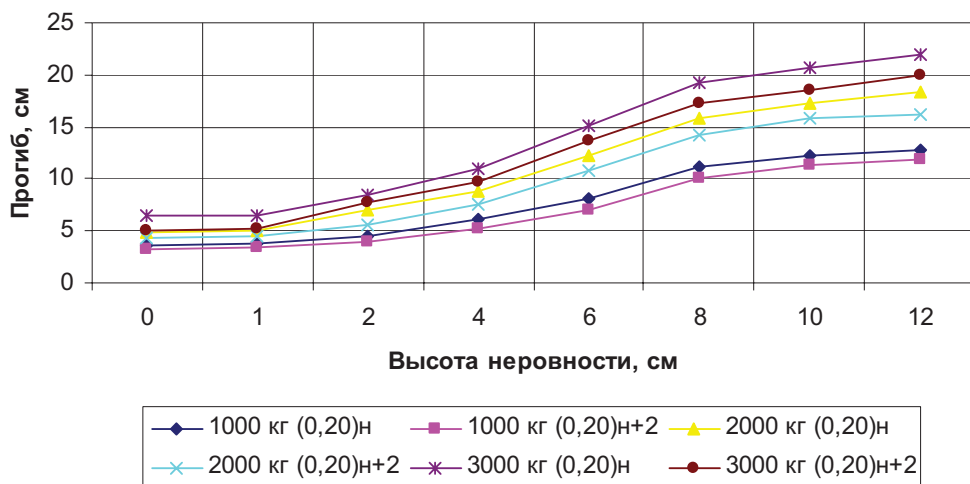


Рисунок 1 – Зависимость прогиба оболочки шины 15,5R38 от высоты неровности при заданных вертикальных нагрузках и внутреннем давлении $0,20\text{МПа}$

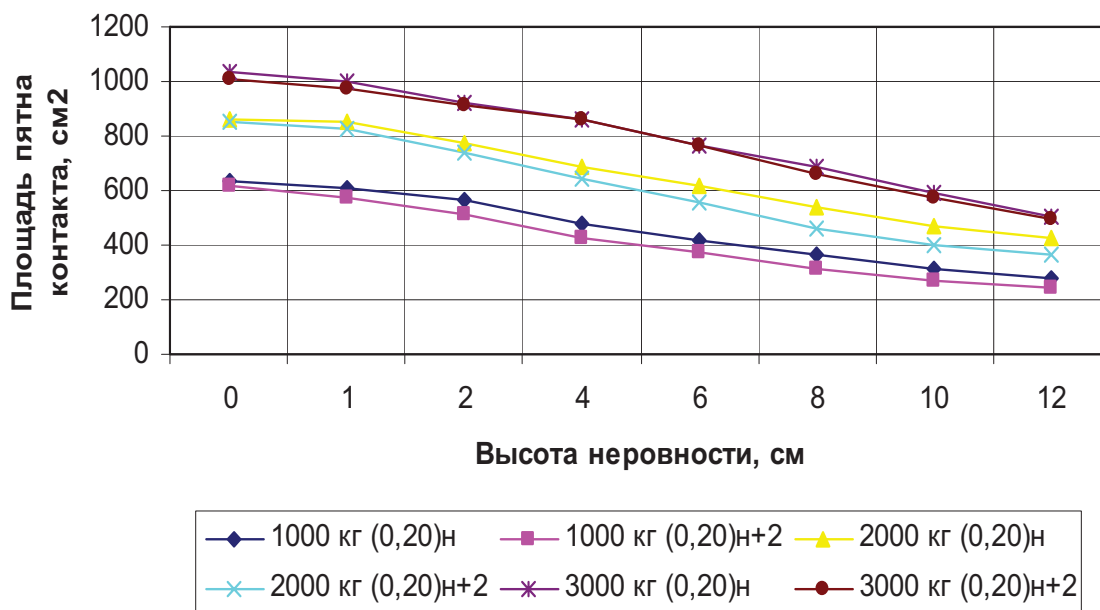


Рисунок 2.9 – Зависимость площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 от высоты неровности при заданных вертикальных нагрузках и внутреннем давлении 0,20МПа

Из графических зависимостей (рис. 1, 2) следует, что существенное влияние на нелинейный характер изменения величины максимального прогиба оболочки пневматической шины 15,5R38 оказывает влияние высота ступенчатой неровности. Аналогично изменяются и величины площади пятна контакта шины при взаимодействии с опорной поверхностью.

Приведенный анализ позволяет утверждать, что зависимости величин максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки пневматической шины от высоты неровности, вертикальной нагрузки, внутреннего давления и количества слоев брекера имеют следующий вид:

$$h = a_1 \cdot W_k^2 + a_2 \cdot W_k + a_3 \cdot Q_3 + a_4 \cdot q + a_5 \cdot n + a_6, \quad (6)$$

$$S = b_1 \cdot W_k^2 + b_2 \cdot W_k + b_3 \cdot Q_3 + b_4 \cdot q + b_5 \cdot n + b_6, \quad (7)$$

где h – максимальный прогиб оболочки, см;

S – площадь пятна контакта, см²;

W_k – высота ступенчатой одиночной неровности, см;

Q_3 – вертикальная нагрузка на шину, кг;

q – внутреннее давление в шине, МПа;

n – количество слоев брекера, шт.

Коэффициенты $a_1; a_2; a_3; a_4; a_5; a_6$, а также $b_1; b_2; b_3; b_4; b_5; b_6$ определяются с помощью метода наименьших квадратов [4]. В данном случае использованы возможности электронных таблиц MS Excel [5], которые содержат встроенные функции, реализующие метод наименьших квадратов. Данные электронные таблицы построены на основании расчетного массива данных.

Таким образом, математические зависимости величин максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 будут иметь следующий вид:

$$h = 3,6848 - 0,0212W_k^2 + 1,3964W_k + 0,0027Q_3 - 11,724q - 0,5958n; \quad (8)$$

$$S = 742,318 + 1,0052W_k^2 - 50,3884W_k + 0,1753Q_3 - 801,23q - 17,317n. \quad (9)$$

При этом коэффициент множественной детерминации, R^2 , который определен дополнительно при помощи составленных электронных таблиц, имеет следующие величины:

- для выражения, определяющего величину прогиба, $R^2 = 0,95$;
- для выражения, определяющего площадь пятна контакта, $R^2 = 0,98$.

При заданном уровне ошибки, который составляет 0,05 совокупность рассматриваемых факторов (высота неровности W_k ; вертикальная нагрузка Q_3 ; внутреннее давление q ; количество слоев брекера n) описывает характер изменения максимального прогиба и площади пятна контакта шины 15,5R38 с достаточно высокой степенью аппроксимации.

4.Выводы

Полученные алгебраические зависимости (8), (9) имеют удобный вид и обеспечивают простоту расчетов при решении практических задач по определению выходных характеристик пневматических шин модели 15,5R38 в условиях реальной эксплуатации машин для земляных и дорожных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурхович М.П. Повышение эффективности крупногабаритной шины модели 15,5R38, применяемой на машинах для земляных и дорожных работ.// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Випуск 2 (37). – с.67-69.
2. Кваша. Э.Н., Рудасёв В.Б., Бурхович М.П. Математическое моделирование контактного взаимодействия пневматической шины с

дорожным основанием // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.–Випуск 3(14).–Кривий Ріг,2002.–с. 22-26.

3. Кваша Э.Н. Контактные задачи слоистых анизотропных оболочек пневматических шин. - Днепропетровск: ЭНЭМ, 2006. - 268 с.
4. Толбатов Ю.А. Математична статистика та задачі оптимізації в алгоритмах і програмах: Навч. посібник. - К.: Вища шк., 1994. - 399с.
5. Орвис В. Excel для ученых, инженеров и студентов. -К.: ЮНИОР, 1999. - 528с.

Получено 11.09.2007 г.