УДК 621.313

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-3-238-85-90

Ю. П. Сердобинцев, А. К. Иванюк, Д. Б. Кабдулова, Ф. К. Салех

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА АДАПТИВНОГО ДВИЖИТЕЛЯ
МОБИЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ivanyuk_aleksei@mail.ru

Используя графики зависимости изменения оптимальных диаметров от изменения соотношения весовых коэффициентов, массовых, геометрических, грунтовых характеристик выявили общее уравнение, изменения диаметра адаптивного движителя мобильного робототехнического комплекса.

Ключевые слова: адаптивный движитель, тензометрическая информационно-измерительная система, метод наименьших квадратов, мобильный робототехнический комплекс.

© Сердобинцев Ю. П., Иванюк А. К., Кабдулова Д. Б., Салех Ф. К., 2020.

Yu. P. Serdobintsev, A. K. Ivanyuk, D. B. Kabdulova, F. C. Saleh

DETERMINATION OF OPTIMAL DIAMETER OF ADAPTIVE PROPULSOR OF MOBILE ROBOTICS COMPLEX

Volgograd State Technical University

Using graphs of dependence of change of optimal diameters from change of ratio of weight coefficients, mass, geometric, soil characteristics, general equation of change of diameter of adaptive propulsor of mobile robotics complex is revealed.

Keywords: Adaptive propulsor, strain gauge information-measuring system, least squares method, mobile robotics complex.

Для проведения многокритериальной оптимизации движения МРК необходимо уметь управлять геометрическими характеристиками колеса в зависимости от геометрического профиля и физико-механических свойств грунта.

Введем условные обозначения параметров колеса – d – диаметр колеса, b – ширина колеса, L – длина базы МРК, r_1, r_2 – нормирующие (весовые) коэффициенты, k – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства грунта.

Для оценки проходимости использовались два критерия – грунтовая, профильная проходимость и ограничение по габаритам комплекса.

Общий критерий “ I ” исходя из трех задан-

ных критериев. Приведем к безразмерному виду (1).

$$I = r_1 \left(\frac{D}{L} - 0,5 * \frac{r_2}{r_1} * \sqrt{\frac{G}{kbD^2}} \right) \quad (1)$$

С использованием из полученных значений было построено семейство графиков (рис. 1), позволяющее для различных геометрических и весовых размеров МРК («var» – номер набора физико-геометрических характеристик эксперимента), автоматически определять оптимальный диаметр колеса. Красной линией на рисунке изображено граничное условие, описывающее конструктивные особенности максимального размера движителя.

Рис. 1. График зависимости изменения оптимальных диаметров от изменения соотношения весовых коэффициентов

Выведем в общем виде функцию (2), определяющую оптимальный диаметр адаптивного МРК, с учетом возможной вариации соотношения критериев проходимости, веса комплекса, коэффициента, учитывающего физико-механические свойства грунта, материала каркаса колеса.

Формулу нахождения оптимального диаметра МРК можно записать:

$$D_{opt} = f\left(\frac{r_2}{r_1}, G, K, Material\right) \quad (2)$$

Дадим приращение каждому аргументу и введем коэффициенты

$$D_{onm} + \dots + \delta D_{onm} = f\left(\frac{r_2}{r_1}\right), G, K, Material = D_{onm} + A_1 \frac{\delta D_{onm}}{\delta \left(\frac{r_2}{r_1}\right)} + A_2 \frac{\delta D_{onm}}{\delta G} + A_3 \frac{\delta D_{onm}}{\delta K} + A_4 \frac{\delta D_{onm}}{\delta (Material)}$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 – коэффициенты показывающие зависимость изменения оптимального диаметра при варьировании основных параметров.

Для определения коэффициентов, воспользуемся ранее предложенной моделью определения оптимального диаметра и выведем графически фиксирую остальные параметры, ко-

эффициенты, давая приращение нужному аргументу.

Для аппроксимации полученных графиков воспользуемся методом наименьших квадратов. Рассмотрим графики, полученные из экспериментальных данных и теоретических расчетов (рис. 2–8).

Рис. 2. График выбора оптимальных диаметров в зависимости от соотношения весовых коэффициентов

Кубическая регрессия

$$D_{onm} = -0.0015 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 + 0.0212 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 0.0812 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.3216$$

где коэффициент корреляции 0.9841, коэффициент детерминации 0.9685, средняя ошибка аппроксимации 1.6706 %

Рис. 3. График выбора оптимальных диаметров в зависимости от соотношения весовых коэффициентов при различном весе МРК

Коэффициент корреляции имеет не линейный характер, выразим его графически и аппроксимируем для дальнейшего использования.

Рис. 4. Изменение коэффициента при различных весовых характеристиках МРК

Кубическая регрессия, вида

$$A_G = -0.0006 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 + 0.0082 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 0.0229 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.9983$$

где коэффициент корреляции 0.7185, коэффициент детерминации 0.5162, средняя ошибка аппроксимации 0.4704 %

Рис. 5. График выбора оптимальных диаметров в зависимости от соотношения весовых коэффициентов при различных «К»

Рис. 6. Изменение коэффициента для различных "К"

Кубическая регрессия

$$A_K = 0.0013 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 - 0.0182 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 + 0.0638 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.9909$$

где коэффициент корреляции 0.8441, коэффициент детерминации 0.7124, средняя ошибка аппроксимации 0.9167 %.

Рис. 7. График выбора оптимальных диаметров в зависимости от материала каркаса колеса

Рис. 8. Изменение коэффициента при различных материалах каркаса колеса

Кубическая регрессия

$$A_M = 0.0018 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 - 0.0250 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 + 0.0861 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 1.0017$$

где коэффициент корреляции 0.8964, коэффициент детерминации 0.8035, средняя ошибка аппроксимации 0.9223 %.

Тогда итоговая формула (3) определения диаметра с учетом выведенных коэффициентов:

$$\begin{aligned}
 D_{onm} + \dots + \delta D_{onm} = D_{onm} &+ (-0.0015 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 + 0.0212 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 0.0812 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.3216) \frac{\delta D_{onm}}{\delta \left(\frac{r_2}{r_1}\right)} + \\
 &+ (-0.0006 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 + 0.0082 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 0.0229 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.9983) \frac{\delta D_{onm}}{\delta G} + \\
 &+ (0.0013 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 - 0.0182 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 + 0.0638 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 0.9909) \frac{\delta D_{onm}}{\delta K} + \\
 &+ (0.0018 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 - 0.0250 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 + 0.0861 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 1.0017) \frac{\delta D_{onm}}{\delta (Material)}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Установлены закономерности автоматического изменения геометрических характеристик, разработанного МРК, описываемые математической моделью, учитывающей изменение диаметра колеса, количество дискретных образующих каркас колеса, массу и габариты мрк, грунт, весовые коэффициенты значимости критериев (грунтовой и профильной проходимости).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П. м. 180692 Российская Федерация, МПК В60В3/00, В60В15/00, В60В23/12 Адаптивное колесо с раздвижным

ободом / Ю. П. Сердобинцев, А. К. Иванюк, В. И. Карлов ; ВолгГТУ. – 2018.

2. Тракторы: Теория: учеб. для студентов вузов / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.] ; под общ. ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.

3. *Сердобинцев, Ю. П.* Experimental Determination of the Passability Characteristics of Mobile Robotic Complex with Adaptive Wheels [Электронный ресурс] / Ю.П. Сердобинцев, А.К. Иванюк, В.И. Карлов // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russia, 25–29 March, 2019) / South Ural State University (national research university), IEEE Industry Applications Society, IEEE Power Electronics Society [et al.]. – [Publisher: IEEE], 2019. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743049.