

УДК 629.114.2

# ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕС С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**В. Н. Болдовский**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра технологии машиностроения и ремонта

машин

Харьковский национальный автомобильно-

дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: (057) 707-37-33

E-mail: vlad\_boldovsky@mail.ru

*У статті представлено результати проведеного моделювання з дослідження впливу експлуатаційних параметрів двохвісного автомобіля на процес взаємодії коліс з опорною поверхнею, що деформується. В роботі обрано розрахункову модель та проведено моделювання системи автомобіль-дорога, з врахуванням динамічних навантажень, що діють на колеса під час руху автомобіля, та змінних властивостей опорної поверхні*

*Ключові слова: система, автомобіль, колесо, розрахункова схема, математичне моделювання, опорна поверхня, динамічне навантаження*

*В статье представлены результаты проведенного моделирования по исследованию влияния эксплуатационных параметров двухосного автомобиля на процесс взаимодействия колес с деформируемой опорной поверхностью. В работе выбрана расчетная модель и проведено моделирование системы автомобиль-дорога, с учетом динамических нагрузок, действующих на его колеса во время движения автомобиля, и различных свойств опорной поверхности*

*Ключевые слова: система, автомобиль, колесо, расчетная схема, математическое моделирование, опорная поверхность, динамическая нагрузка*

## 1. Введение

Исследование процессов движения автомобилей по дорогам с низкой несущей способностью, то есть грунтовым дорогам, занимает весьма важное место в теории движения автомобилей. В общем случае автомобиль может быть представлен как определенный объект, состоящий из различных систем и механизмов. В зависимости от поставленных задач выбираются, те или иные расчетные способы, позволяющие отображать физическую сущность протекания исследуемого процесса. В данной работе рассматривается процесс взаимодействия колес автомобиля с деформируемой опорной поверхностью с учетом свойств, как колеса, так и опорного основания. Анализ процессов, происходящих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, необходимо проводить с целью выполнения исследований, которые могут быть применимы при проектировании ходовых систем автомобилей.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Движение грузовых автомобилей по дорогам с низкой несущей способностью сопровождается определенными сложностями, которые могут быть исследованы как до начала эксплуатации автомобиля по участкам дороги – теоретические расчеты, так и по завершению проезда автомобиля по «опытному» участку – обработка экспериментальных данных.

Моделирование процесса взаимодействия колес автомобилей можно проводить различными способами, в работе [1] предлагается исследовать данную задачу на основании метода конечных элементов. При расчетах процесса взаимодействия колеса с деформируемым опорным основанием, основными сложностями являются: представление модели деформируемого опорного основания, позволяющей отображать процесс его деформации от действия колес автомобиля, а также выбора модели колеса с учетом его геометрической формы (рисунок протектора и т.п.). Указанные особенности существенно усложняют создание динамических моделей и расчетных зависимостей для исследования процесса взаимодействия колес автомобиля с деформируемым опорным основанием [2, 3]. Следовательно, при выполнении моделирования такого вида процессов необходимо принимать ряд допущений, что в определенной степени упростит решение поставленных задач. Для установления особенностей распределения давления, действующего в зоне контакта колеса с деформируемым опорным основанием, необходимо знать зависимости между давлением колеса и деформациями опорного основания и шины. Решение данной проблемы также возможно путем применения модели, в которой рассматривается зафиксированный момент катящегося колеса по опорной поверхности. В случае принимается, что передняя и задняя части деформируемого колеса или передняя и задняя части деформируемой опорной поверхности неодинаковы (несимметричная эпюра распределений контактных давлений, неодинаковы длины ветвей

нагрузки и разгрузки шины, различный уровень опорной поверхности спереди и сзади и т.д.). В соответствии с этим получены зависимости для расчета распределения контактных давлений, действующих в зонах нагрузки и разгрузки [4]

$$\sigma = \frac{C_1 \cdot K_1'}{C_1 + K_1'} \cdot \left( \frac{a_1^2}{2r_0} - \frac{\xi^2}{2r_0} \right); \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{C_2 \cdot K_2'}{C_2 + K_2'} \cdot \left( \frac{a_2^2}{2r_0} - \frac{\xi^2}{2r_0} \right); \quad (2)$$

где  $r_0$  – радиус ненагруженного колеса;  $a_1$  и  $a_2$  – проекции линий контакта в зонах нагрузки и разгрузки на плоскость параллельную недеформированной опорной поверхности;  $\xi$  – горизонтальная координата контактной поверхности колеса относительно вертикальной оси, проходящей через центр колеса;  $C_1, C_2$  и  $K_1', K_2'$  – константы грунта и шины.

В [4] при последовательном усложнении системы колесо – опорная поверхность и введении различных допущений рассмотрена задача взаимодействия колеса с почвой. При этом шина представлена в виде 3-элементной реологической модели. Активный слой почвы представлен двухэлементной реологической моделью Кельвина.

На основании проведенного анализа литературных источников становится очевидной проблема исследования такого вида задач.

### 3. Цель исследования

Целью исследования является разработка динамической модели двухосного грузового автомобиля и выбора расчетной схемы взаимодействия колес с деформируемой опорной поверхностью. Для разработанной динамической модели выполнить моделирование процесса взаимодействия колес с деформируемой опорной поверхностью учитывая величину динамических нагрузок, действующих в элементах ходовой системы автомобиля.

### 4. Исследование влияния эксплуатационных параметров автомобиля на процесс взаимодействия колес с опорной поверхностью

Моделирование процесса движения автомобиля по дорогам с низкой несущей способностью – грунтовой дорогой, обуславливается множеством факторов, оказывающих влияние на взаимодействие движителей с грунтом. Для проведения моделирования разработана динамическая модель двухосного грузового автомобиля с деформируемым опорным основанием, общий вид которой представлен на рис. 1.

При моделировании опорной поверхности принята модель, представленная на рис. 1. Для разработанной динамической модели (рис. 1) определяем основные величины, влияющие на процесс взаимодействия колес с деформируемой опорной поверхностью. Составляем уравнения для верхней и нижней частей модели грунта

$$E_D \cdot x - E_D \cdot \varepsilon - \sigma = 0, \quad (3)$$

где  $E_D$  – динамический модуль упругости деформируемого опорного основания (грунта), Па;  $\sigma$  – механическое напряжение колес автомобиля на деформируемое опорное основание, Па;  $\varepsilon$  – относительная деформация деформируемого опорного основания (грунта).

Уравнение связи имеет следующий вид

$$-E \cdot x - E_D \cdot (x - \varepsilon) - \eta \cdot \dot{x} = 0, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости деформируемого опорного основания (грунта), Па;  $\eta$  – коэффициент вязкости деформируемого опорного основания (грунта), Па·с.

Для определения величины динамических нагрузок, действующих на колеса переднего и заднего мостов автомобиля, составим систему уравнений соответствующую расчетной схеме динамической модели

$$\left. \begin{aligned} G_{k1} &= F_{p1} + F_{ам.ш1} - F_{ам1} + m_1 \cdot \ddot{\xi}_1 \\ G_{k2} &= F_{p2} + F_{ам.ш2} - F_{ам2} + m_2 \cdot \ddot{\xi}_2 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где  $F_{p1}, F_{p2}$  – сила, упругих элементов передней и задней подвесок;  $F_{ам.ш1}, F_{ам.ш2}$  – сила, учитывающая амортизационные свойства шин переднего и заднего мостов автомобиля;  $m_1, m_2$  – масса переднего и заднего мостов автомобиля;  $F_{ам1}, F_{ам2}$  – силы, создаваемые амортизаторами передней и задней подвесок;  $\ddot{\xi}_1, \ddot{\xi}_2$  – вертикальные ускорения переднего и заднего мостов автомобиля.

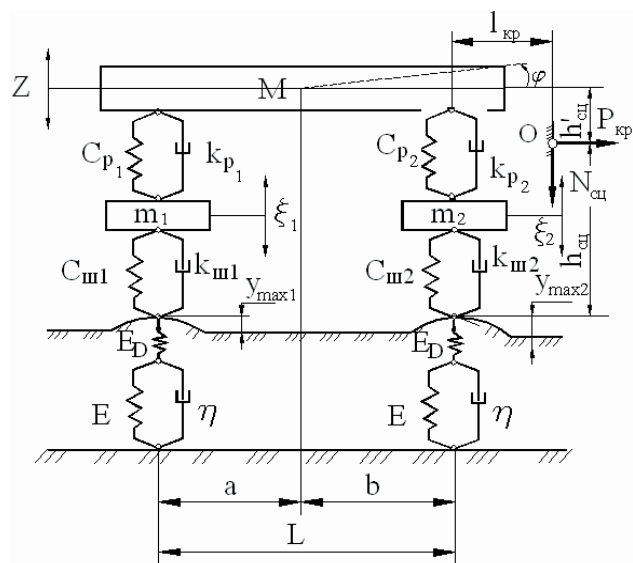


Рис. 1. Динамическая модель двухосного грузового автомобиля на деформируемом опорном основании

Величина динамической нагрузки, приходящейся на колеса переднего и заднего мостов грузового автомобиля, изменяется в достаточно широком диапазоне значений и в первую очередь зависит скорости движения и высоты неровности опорного основания. Полученные уравнения позволяют моделировать процесс

взаимодействия колес автомобиля с деформируемой опорной поверхностью с учетом, как эксплуатационных свойств автомобиля, так и свойств деформируемого опорного основания – грунта.

---

### 5. Выводы по результатам исследований

---

Полученные в данной работе результаты исследований позволили сформулировать следующие выводы:

1. Разработанная динамическая модель взаимодействия двухосного грузового автомобиля с деформируемой опорной поверхностью, позволила исследовать изменения динамических нагрузок на колесах автомобиля с учетом деформации грунта;

2. Проведено математическое исследование влияния эксплуатационных свойств автомобиля на процесс взаимодействия колес с деформируемым опорным основанием, в результате чего определены закономерности деформации грунта от действия на него динамических нагрузок.

---

### Литература

1. Третьяк, В.М. Моделирование процессов взаимодействия двигателей тягово-транспортных средств с опорной поверхностью методом конечных элементов / В.М. Третьяк, В.Н. Болдовский // Вісник ХНТУСГ. – 2006. – № 46. – С. 31-37.
2. Водяник, И.И. Влияние крутящего момента на взаимодействие колеса с почвой [Текст] / И.И. Водяник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 6. – С. 37-39.
3. Водяник, И.И. Расчетная оценка распределения давления в контакте шины с грунтом [Текст] / И.И. Водяник // Тракторы и сельхозмашины. – 1978. – №10. – С. 16-17.
4. Гуськов, В.В. Тракторы: Теория [Текст] / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
5. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля. [Текст] / Ротенберг Р.В. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
6. Силаев, А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин [Текст] / Силаев А.А. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.

### **Abstract**

*The results of the carried out simulation on the effect of operating parameters of the two-axle vehicle on wheels interaction with the deformable wheel support surface are presented in the given paper. The design model is selected and modeling of the vehicle-road system is carried out, taking into account the dynamic forces acting on the wheel while driving and various properties of the supporting surface. For the chosen design scheme there was carried out mathematical modeling of the support base deformation process caused by dynamic loading of vehicle wheels. The developed dynamic model provides the ability to display the process of wheels contacting with the supporting surface, taking into account the design and operational features of the vehicle (speed, weight of individual components and mechanisms, stiffness and damping of the suspension and tires), as well as consider the characteristics of the flexible support base - ground (static and dynamic modulus of soil deformation and viscosity parameter). The results of the carried out simulation of the interaction process of the vehicle with the deformable supporting surface can be applied at the analysis of design features of wheels, at drawing conclusions concerning the degree of their influence on the supporting surface with low bearing capacity and while determining the possibility of vehicle off-road operating*

**Keywords:** *system, vehicle, wheel, design scheme, dynamic model, simulation, support surface*