

УДК 629.114.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ 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 основні принципи способу вирішення важливого практичного завдання з дослідження процесу взаємодії коліс автомобіля з опорною поверхнею, що деформується. В роботі наведено динамічну модель взаємодії автомобіля, обрано модель ґрунту, а також виконано математичне моделювання процесу взаємодії колеса з опорною поверхнею, що деформується

Ключові слова: автомобіль, колесо, математичне моделювання, опорна поверхня, динамічне навантаження

В статье представлен способ решения важной практической задачи по исследованию процесса взаимодействия колес автомобиля с деформируемой опорной поверхностью. В работе представлена динамическая модель взаимодействия автомобиля с грунтом, выбрана модель грунта, а также выполнено математическое моделирование процесса взаимодействия колеса с деформируемой опорной поверхностью

Ключевые слова: автомобиль, колесо, математическое моделирование, опорная поверхность, динамическая нагрузка

1. Введение

В процессе эксплуатации автомобилей они перемещаются по дорогам, как с твердым дорожным покрытием, так и по дорогам с низкой несущей способностью.

При этом возможны случаи движения одиночного автомобиля или же в составе автопоезда. Для случая передвижения автомобиля по дорогам общего пользования с твердым дорожным покрытием процесс взаимодействия элементов ходовой системы, а именно его колес с основанием дороги, достаточно хорошо исследован и при выполнении математического моделирования можно с высокой достоверностью описать протекание этого процесса, так как эта задача представляется в виде контакта деформированного колеса и недеформируемой опорной поверхностью – дорожным основанием.

При исследовании процесса взаимодействия колеса автомобиля с деформируемым опорным основанием возникают дополнительные особенности, связанные с моделированием процесса деформации опорного основания, так как очень трудно теоретически учесть факторы, влияющие на его деформацию и, следовательно, для математического описания необходимо составление сложной системы дифференциальных уравнений n -го порядка. В соответствии с этим для изучения данных процессов существует множество расчетных методов, задачей которых является моделирование процессов взаимодействия деформируемого колеса автомобиля и деформируемой опорной поверхности.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Вопросами, связанными с проблемой взаимодействия ходовых систем автомобилей с деформируемым опорным основанием, посвящены работы многих авторов. При проведении математического моделирования необходимо знать законы деформации опорного основания и принципы его математического описания. Учитывая всю сложность моделирования исследованного процесса приходится принимать ряд допущений, например, такие как зависимости между механическими напряжениями и соответствующими деформациями принимать в виде линейных, что не в полной мере отражает реальность происходящих процессов. Поэтому представление о линейной зависимости между напряжением и деформацией является слишком приближенным. Больше соответствует фактической зависимости степенная функция, предложенная в [3], при этом связь между механическими напряжениями и деформациями можно представить следующей формулой

$$\sigma = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) \cdot h^n, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент сцепления почвы, Н/м¹⁺ⁿ; b – наименьший размер штампа, м; k_ϕ – коэффициент трения почвы, Н/м²⁺ⁿ; n – показатель степени.

Однако недостатками приведенных линейной и степенной функций являются отсутствие достаточного теоретического обоснования и существенное ис-

кажение процесса сжатия деформируемого опорного основания. Интенсивность напряжения есть тангенс угла наклона касательной или первая производная напряжения по деформации [4]

$$\frac{d}{dh} \sigma(h) = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) \frac{d}{dh} (h^n) = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) n h^{n-1}. \quad (2)$$

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 грунта представлен двухэлементной реологической моделью Кельвина. Несмотря на целый ряд значительных упрощений автору не удалось в явном виде получить выражения как для σ , так и для ϵ_1 . Кроме того, в указанных работах не приведены методики определения E_1, E_2, μ_1, μ_2 и ν .

С использованием зависимости Д.И. Золотаревской - А.Ф. Полетаева

$$\sigma = qT \cdot \frac{d\epsilon}{dt} - T \cdot \frac{d\sigma}{dt} \quad (3)$$

и с введением корреляционных зависимостей получено, уравнение с частными производными 4-го порядка, описывающие распространения волн деформации и напряжения в вязкоупругой среде переменной плотности, линейно зависящей от глубины. Такой вывод сделан Д.И. Золотаревской в [1, 2], где утверждается, что закономерности деформирования грунтов во времени при сжатии и сдвиге с большой степенью точности моделируются нелинейным интегральным уравнением наследственной теории вязкоупругости. Уровень возникающих проблем создания расчетных зависимостей для выявления распределения контактных давлений колес автомобиля на деформируемую опорную поверхность с различными характеристиками можно оценить на основе результатов экспериментальных исследований с контролируемой ошибкой измерений. В настоящее время существуют множество методик расчета взаимодействий колес автомобилей с грунтом, но нет такой, которая была бы общепринятой.

3. Цель исследования

Целью исследования является проведение моделирования процесса взаимодействия элементов ходовой системы автомобиля с деформируемой опорной поверхностью при движении по дороге с низкой несущей способностью. Моделирование указанного процесса выполняется с учетом эксплуатационных параметров автомобиля и свойств автомобильного колеса, а также с учетом физико-механических свойств деформируемого опорного основания.

4. Моделирование процесса взаимодействия колес автомобиля с деформируемой опорной поверхностью

Исследование процесса взаимодействия колес автомобиля с деформируемым опорным основанием не-

обходимо проводить с учетом реологических свойств грунта.

Для выполнения математического моделирования принята динамическая модель, общий вид которой представлен на рис. 1. В данной модели имеются два ведущих моста, с колесной формулой 4x4. Принимается, что передний мост соединен с рамой через подвеску - листовые рессоры и гидравлические амортизаторы, задний мост не имеет подвески и поэтому жестко связан с рамой.

В расчетной схеме (рис. 1) подвеска, передние и задние колеса представляется как упруго-вязкие элементы с постоянными коэффициентами жесткости и демпфирования - $C_p, k_p, C_{ш1}, k_{ш1}$. Также принять, что на раму действуют вертикальная $N_{ст}$ и горизонтальная $P_{кр}$ составляющие тяговой нагрузки, а на оси колес переднего и заднего мостов действует вертикальная нагрузка G_k .

Для описания напряженно-деформируемого состояния деформируемого опорного основания от действующих вертикальных вибродинамических нагрузок колес используем модель Кельвина, общий вид которой представлен на рис. 2.

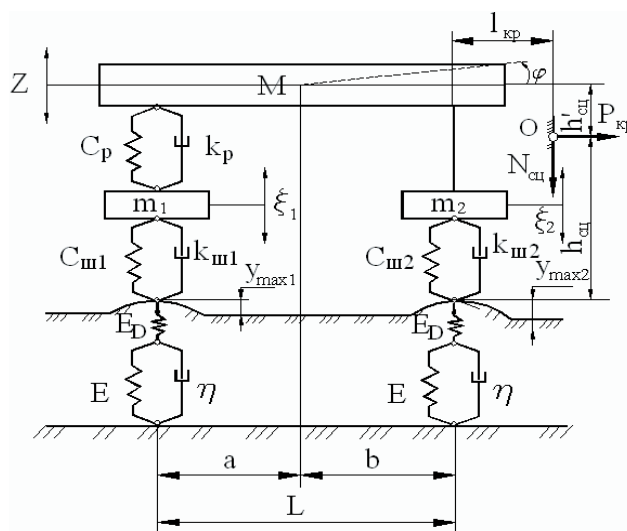


Рис. 1. Динамическая модель при вертикальных и угловых колебаниях на деформируемом опорном основании

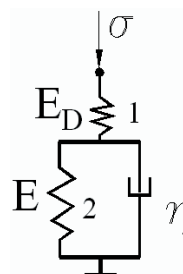


Рис. 2. Модель Кельвина

Для представленной модели изменение относительной деформации грунта от действующих динамических нагрузок колес можно определить по следующей зависимости

$$\epsilon(t) = -\frac{D_0}{\mu} - \frac{B_0}{\mu^2} \cdot (\mu t - 1) + C_0 \cdot e^{-\mu t}, \tag{4}$$

где

$$B_0 = \frac{\mu \cdot \sigma_m}{E_C \cdot \theta}, c^{-2};$$

$$D_0 = \frac{\sigma_m}{E_D \cdot \theta} \cdot \left(1 - \frac{E_D}{E_C} \cdot \mu \cdot \theta \right), c^{-1};$$

$$C_0 = \frac{\sigma_m}{E_D} + \frac{D_0}{\mu} - \frac{B_0}{\mu^2} - \text{коэффициенты, учитывающие}$$

свойства грунта и величину механических напряжений на нем.

Для моделирования деформации опорной поверхности принимаем модель, учитывающую как упругие, так и вязкие свойства. Общий вид модели почвы представлен на рис. 3.

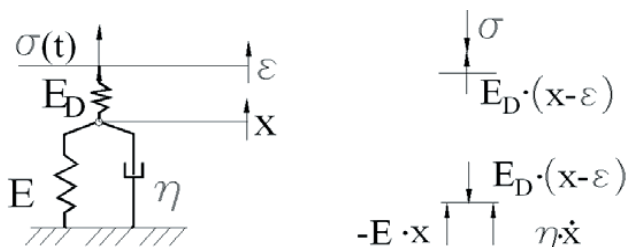


Рис. 3. Общий вид модели деформируемого опорного основания

Максимальное механическое напряжение в пятне контакта колес переднего и заднего мостов с опорным основанием рассчитывается по формуле

$$\sigma_{m1} = \frac{G_{k1}}{F_{k1}}; \dot{\sigma}_{m1} = \frac{\dot{G}_{k1}}{F_{k1}}; \tag{5}$$

$$\sigma_{m2} = \frac{G_{k2}}{F_{k2}}; \dot{\sigma}_{m2} = \frac{\dot{G}_{k2}}{F_{k2}},$$

где G_{k1}, G_{k2} – вертикальная нагрузка, приходящаяся на колеса переднего и заднего мостов; $\dot{G}_{k1}, \dot{G}_{k2}$ – скорость изменения вертикальной нагрузки, приходящейся на колеса переднего и заднего мостов; F_{k1}, F_{k2} – площадь пятна контакта под передними и задними колесами автомобиля.

Моделирование процесса взаимодействия колеса с деформируемой опорной поверхностью рассмотренной динамической модели позволяет исследовать изменение деформации грунта от действия на него колеса, при этом учитываются эксплуатационные свойства автомобиля, нагрузки, действующие в пятне контакта, а также физико-механические свойства грунта.

Выводы по результатам исследований

Полученные в данной работе результаты исследований позволили сформулировать следующие выводы:

1. Анализ различных литературных источников показал, что не существует оптимального метода исследования процесса взаимодействия колес автомобиля с деформируемым опорным основанием.
2. Предложена динамическая модель, позволяющая исследовать процесс взаимодействия колес автомобиля с деформируемым опорным основанием.
3. Проведено математическое моделирование, при котором определено изменение деформации опорного основания от действия на него колес автомобиля.

Литература

1. Золотаревская, Д.И. Изменение сопротивления качению, реологических свойств и плотности почвы под воздействием колес [Текст] / Д.И. Золотаревская // Тракторы и сельхозмашины. – 2004. – № 2. – С. 22-25.
2. Золотаревская, Д.И. Расчет показателей взаимодействия движителей с почвой [Текст] / Д.И. Золотаревская // Тракторы и сельхозмашины. – 2001. – № 3. – С. 18-22.
3. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина [Текст] / М.Г. Беккер – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
4. Скотников, В.А. Моделирование уплотнения почвы движителями кормоуборочных комбайнов [Текст] / В.А. Скотников, Н.Д. Янцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 9 – С. 5-7.

Abstract

The article is dedicated to the practical problem of detection of dynamic effect of vehicles running systems on the ground. It presents the designed dynamic model of interaction of two-axle vehicle with the deformed bearing surface – ground. There is a diagram that allows taking into account exploitation performances of the vehicle, load in its elements as well as in contact of wheels with the ground. The model of deformed bearing surface was adopted in combined condition and was presented as a set of connected flexible elements. The mathematical model of interaction of two-axle vehicle with deformed bearing surface was drawn up. It makes it possible to research the processes of effect of vehicle exploitation performances on the value of ground deformation, taking into account its physical-mechanical properties. The designed mathematical model provides the quality research of processes that occur in contact spot of wheel and tire. The results of mathematical modeling can be applied during vehicle designing and wheels selecting of various dimension types

Keywords: vehicle, wheel, mathematical modeling, bearing surface, dynamic load