

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ «ШИНА – ГРУНТ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАСЧЕТОВ НА ПРОХОДИМОСТЬ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Я. С. Агейкин, Н. С. Вольская

Представлена разработанная прикладная методика, позволяющая по оценке глубины колеи определять коэффициент демпфирования системы «шина – грунт» в расчетах проходимости колесных машин.

Ключевые слова: колесная машина, неровный деформируемый грунт, жесткость и коэффициенты демпфирования шины и грунта.

Введение

В реальных условиях эксплуатации транспортные средства высокой проходимости движутся по грунтовым поверхностям. При этом на колеса действуют переменные нагрузки, определяемые, в первую очередь, колебаниями подрессоренной и неподрессоренной масс машины. Неровная опорная поверхность под колесами неравномерно деформируется, физико-механические свойства грунта изменяются в соответствии с нагрузками при каждом последующем проходе колес и зависят от числа циклов нагружения [1, 2]. В результате оценка процесса взаимодействия колес с грунтом и определение взаимных деформаций шины и грунта как одной из основных задач в теории проходимости колесных машин значительно усложняется. Расчет показателей проходимости колесных машин в динамической постановке получает новое развитие и требует решения новых вопросов. В частности необходимо рассмотреть и решить следующие задачи.

1. Как изменяются параметры колебаний колесной машины из-за деформации грунта.

2. Как определять дополнительные нагрузки на колеса, вызываемые колебаниями.

3. Как определять показатели взаимодействия колес с грунтом с учетом действия периодически изменяющихся нагрузок.

Выбор модели деформируемости грунта

Решение всех перечисленных задач зависит от решения задачи, которая рассматривается в данной работе. Главная цель проводимых исследований – разработка адекватной математической модели движения многоосной колесной машины по деформируемым поверхностям с учетом демпфирующих свойств и нелинейности характеристик грунта.

На кафедре автомобилей и двигателей ГОУ МГИУ разработаны динамические модели как для плоской, так и для пространственной колебательных схем движущихся по неровным поверхностям колесных двухосных и многоосных машин [1, 2]. Особенностью этих работ является введение в колебательные модели системы «автомобиль-дорога» модели нелинейного деформируемого неровного грунта. При этом принимаются следующие допущения.

1. В деформации грунта выделяются две части: необратимая, которая представляет собой дополнительный источник гашения колебаний, и обратимая, упругая, которая изменяет приведенную жесткость системы «шина-грунт».

2. Рассматривается простейшая колебательная система «шина-грунт», включающая жесткость шин $c_{ш}$, жесткость грунта $c_{г}$, сопротивление амортизаторов k_a , коэффициент демпфирования шины $k_{ш}$, коэффициент демпфирования грунта $k_{г}$, обусловленный затратами энергии на его деформацию.

3. Принимаем, что колесо катится без отрыва от грунта.

4. Упругие характеристики грунта и подвески линейны.

Из механики грунтов и исследований по проходимости колесных машин [3, 4] известно, что если рассматривать деформации грунта в общем виде, то они включают в себя изменения как объема, так и формы, т.е. деформативные свойства грунта могут быть представлены реологической моделью.

При проведении экспериментов с грунтами в МГУ им. М.В. Ломоносова было выявлено, что при равномерном статическом сжатии грунта его объем уменьшается в зависимости от нагрузки [5]. Если возможно выжимание жидкости, то в зависимости от водопроницаемости грунта ее объем будет уменьшаться с течением времени. После снятия нагрузки объем грунта несколько увеличивается, однако не восстанавливается полностью. Отсюда следует, что грунты обладают некоторой упругостью [5]. Это вызвано, прежде всего, необратимостью процессов как переукладки, так и разрушения частиц грунта.

Известно, что упругость грунта обуславливается упругостью скелета, воды и газа, заполняющих поры. В некоторых грунтах, особенно мелкозернистых, имеет место упругая деформация другого типа. За счет молекулярных сил после снятия нагрузки происходит засасывание в поры воды, выдавленной в процессе нагружения. В механике грунтов этот процесс носит название набухания. Если выдавливание воды из грунта приводит к увеличению его сжимаемости, то процесс набухания может в значительной степени восстановить первоначальный объем грунта [5].

В связи с вышеизложенным при изучении сжимаемости грунтов под действием нагрузки принято рассматривать два процесса.

1. Изменение объема грунта под действием нагрузки заданной величины с течением времени – консолидация грунта.

2. Изменение объема грунта в зависимости от действия нагрузок различной величины – сжимаемость грунта.

Экспериментальные исследования по динамическому сжатию песка и глины [5] показали, что разгрузка грунта при малых давлениях происходит с уменьшением деформации. При больших давлениях для песка упругая часть деформаций незначительна и разгрузка происходит почти при неизменной деформации. С увеличением примеси глины в грунте упругая часть деформаций возрастает.

Повышение процентного содержания глины приводит к снижению модуля упругости. С уменьшением содержания глины в грунте при малых давлениях, несмотря на увеличение пористости грунта, сжимаемость падает. Это объясняется меньшей эластичностью скелета грунта. При больших давлениях, наоборот, за счет увеличения пористости сжимаемость возрастает.

Таким образом, результаты экспериментов подтверждают, что в процессе нагрузки и последующей разгрузки грунта в зависимости от его типа, влажности и плотности в разной степени проявляются обратимые и необратимые деформации. Это позволяет считать, что при наличии обратимых деформаций (для песка и глины они могут достигать 50%) грунт может являться дополнительным демпфером в системе двух контактирующих тел (грунт и шина).

В механике грунтов выделяют девять реологических моделей деформируемого грунта [3], для описания которых применяются соответствующие математические модели.

Суглинистые грунты и глины могут быть отнесены к модели упруго-вязко-пластичного грунта. Механические свойства таких грунтов определяются сопротивлением деформированию за счет внутреннего трения [3].

Разработка модели «шина-грунт»

На рисунке показана расчетная схема системы «шина – грунт» для неровной опорной поверхности, в которой модель грунта представлена как упруго-вязко-пластичное тело. В этой схеме, учитывающей взаимные деформации шины и грунта, вместо параметров $k_{ш}$ и $k_{г}$, оценивающих отдельно демпфирующие

свойства шины и грунта, определим коэффициент демпфирования $k_{ГШ}$ системы «шина–грунт». Для этого необходимо знать работу демпфирования грунта $A_{Г}$ и шины $A_{Ш}$.

Известно, что работа силы на любом перемещении равна взятому вдоль этого перемещения интегралу от элементарной работы. Работу демпфирования грунта можно выразить зависимостью [4]:

$$A_{Г} = (1 - \zeta_1) \cdot \int_0^z P_z(z) \cdot dz; \quad (1)$$

$$P_z(z) = 0,25 \cdot \pi \cdot q(z) \cdot \left[(1 - 0,5 \cdot \zeta) \cdot 2 \cdot b \times \right. \\ \left. \times \sqrt{D \cdot h - h^2} + \zeta \cdot b_k \cdot \sqrt{D \cdot (h + z) - (h + z)^2} \right],$$

где ζ_1 – доля упругой деформации грунта; z – деформация грунта; h – деформация шины; $P_z(z)$ – нормальная нагрузка на ось колеса; ζ – коэффициент неравномерности распределения давлений в криволинейной зоне поверхности контакта; $q(z)$ – давление в зоне пятна контакта шины с грунтом; b_k – ширина колеи; D – диаметр колеса; b – ширина протектора шины.

Работу демпфирования шины представим в следующем виде [4]:

$$A_{Ш} = 0,5 \cdot \pi \cdot b \cdot \left[\int_0^h q(z) \cdot \sqrt{D \cdot h - h^2} \cdot dh \right] \cdot \frac{\Psi_1 \cdot P_0}{(p_0 + p_w)}, \quad (2)$$

где Ψ_1 – коэффициент гистерезисных потерь в шине; p_0 – давление в пятне контакта от каркаса шины; p_w – давление воздуха в шине.

В колебательном процессе сумму работ $A_{Г}$ и $A_{Ш}$ рассматриваем как работу сил вязкого трения:

$$A_{Г} + A_{Ш} = A_{ГШ}. \quad (3)$$

Считаем, что сила вязкого трения прямо пропорциональна скорости деформации шины

и грунта $\left(k_{ГШ} \cdot \dot{h}_{ГШ} \right)$ [4], причем

$$h_{ГШ}(t) = h_{ГШ}^0 \cdot [1 - \cos vt],$$

$$\dot{h}_{ГШ}(t) = h_{ГШ}^0 \cdot v \cdot \sin vt,$$

где $h_{ГШ}^0$ – суммарная упругая деформация шины

и грунта; v – частота возмущающей силы, рад/с; t – время, с.

$$\text{Тогда } F_{\text{демпф}}(t) = k_{ГШ} \cdot \dot{h}_{ГШ}(t)$$

или

$$F_{\text{демпф}}(t) = k_{ГШ} \cdot h_{ГШ}^0 \cdot v \cdot \sin vt.$$

Работу сил вязкого трения можно выразить формулой [4]:

$$A_{ГШ}(t) = F_{\text{демпф}}(t) \cdot h_{ГШ}(t)$$

или

$$A_{ГШ} = k_{ГШ} \cdot v \cdot h_{ГШ}^0 \cdot \int_0^{\pi} \sin vt \cdot (1 - \cos vt) \cdot d(vt).$$

После преобразования получим:

$$A_{ГШ} = 2 \cdot k_{ГШ} \cdot v \cdot (h_{ГШ}^0)^2. \quad (4)$$

Упругая составляющая деформации грунта и шины (см. рисунок):

$$h_{ГШ} = h + \zeta_1 \cdot z; \quad (5)$$

Из совместного рассмотрения зависимостей (3), (4) и (5) получим:

$$k_{ГШ} = \frac{A_{Г} + A_{Ш}}{2v \cdot (h + \zeta_1 \cdot z)^2}. \quad (6)$$

Зависимость (6) дает возможность определять приведенные значения коэффициента демпфирования $k_{ГШ}$ системы «шина–грунт», учитывающей реальную картину нелинейных процессов этой же системы. Это позволит точнее проводить расчеты показателей проходимости колесных машин: глубины колеи, толщины мягкого деформируемого слоя и прогиб шины под действием динамических нагрузок.

Заключение

Решение рассматриваемой задачи касается вопросов определения параметров колебательной системы «шина–грунт». В то же время эта система входит в общую динамическую модель «колесная машина–неровный деформируемый грунт». Предлагаемая методика определения параметров сложной системы «шина–нелинейно-деформируемый грунт» будет способствовать решению, прежде всего, первой и третьей задач, поставленных в данном исследовании.

Таким образом, решение проблемы оценки показателей проходимости колесных многоосных машин с учетом динамических нагрузок получает дальнейшее развитие. Главная цель проводимых исследований – разработка адекватной математической модели движения мно-

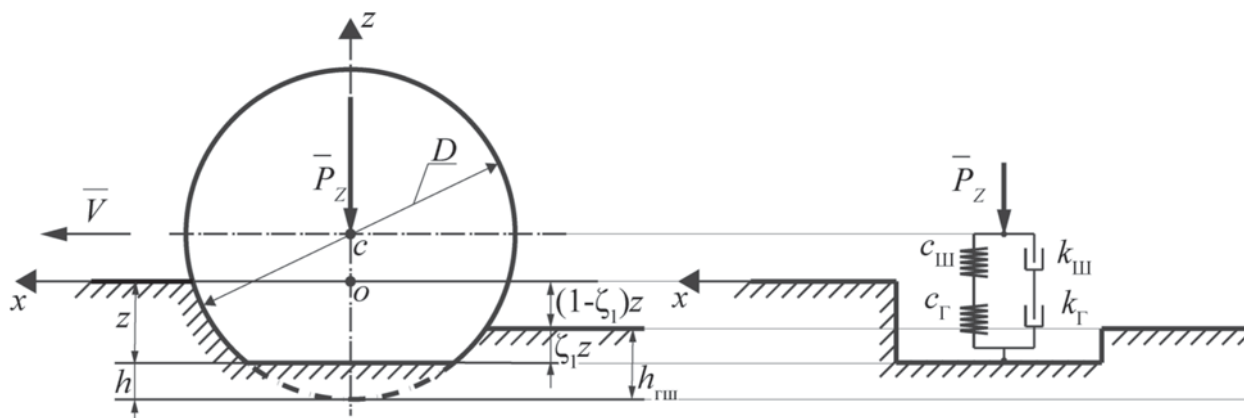


Схема и физическая модель деформации грунта под действием нормальной нагрузки

гоосной колесной машины по деформируемым поверхностям с учетом демпфирующих свойств и нелинейности характеристик грунта.

Список литературы

1. Вольская Н.С., Ширяев К.Н. Влияние цикличности нагружения грунта на его физико-механические свойства в расчетах на проходимость колесных машин // Машиностроение и инженерное образование. 2010. № 4. С. 2–8.
2. Левенков Я.Ю., Чичекин И.В. Разработка динамических моделей колесных машин для анализа их проходимости // Машинострое-

ние и инженерное образование. 2010. № 4. С. 9–17.

3. Орнатский Н.В. Механика грунтов. – М.: Изд-во Московского университета, 1962. – 446 с.
4. Агейкин Я.С., Вольская Н.С. Динамика колесной машины при движении по неровной грунтовой поверхности. – М.: МГИУ, 2003. – 124 с.
5. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. – М.: Изд-во Московского университета, 1964. – 237 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.2010

АГЕЙКИН Яков Семенович

E-mail: volskaja@mail.msiu.ru
Тел. +7 (495) 675-62-42

Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и двигателей ГОУ МГИУ. Основоположник российской школы проходимости колесных машин. Автор более 150 научных работ.

ВОЛЬСКАЯ Наталья Станиславовна

E-mail: volskaja@mail.msiu.ru
Тел. +7 (495) 675-62-42

Доктор технических наук, профессор. Заведующая кафедрой автомобилей и двигателей ГОУ МГИУ. Область научных интересов – определение опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям. Автор около 40 научных работ.