Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

(ГОУ МГИУ)

На правах рукописи

04.2.1 0 5 808 1 "

ЧИЧЕКИН ИЛЬЯ ВИКТОРОВИЧ

РАЗРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

КОЛЕСНЫХ МАШИН ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОХОДИМОСТИ

ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕРОВНЫМ ГРУНТОВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ

Специальности:

01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

05.05.3. - Колесные и гусеничные машины

диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель - д.т.н., проф. Я.С. Агейкин Научный консультант — д.т.н., проф. Н.С. Вольская

Москва - 2010

Оглавление

Условные обозначения 6

Введение 9

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ 11

1.1. Моделирование движения колесных машин по деформируемым

поверхностям 12

1.2. Математические модели автомобиля движущегося по неровным

поверхностям 18

1.3. Математические модели описания неровных опорных поверхностей 20

1.3.1. Определение спектральной плотности микронеровностей опорной

поверхности 20

1.3.2. Примеры расчета корреляционной функции микропрофиля 30

1.3.3. Примеры расчета спектральной плотности дисперсий ординат микропрофиля 32

1.4. Критерии оценки плавности хода 40

1.5. Математические модели деформируемости грунта 51

1.6. Формулирование основных задач исследования 54

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВУХОСНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН 55

2.1. Принципы создания динамической модели двухосной колесной машины

: 55

2.1.1. Параметры динамической модели двухосной колесной машины 57

2.1.2. Разработка математической модели движения колесной машины 59

2.1.3. Вывод передаточной функции 69

2.1.4. Определение нормальных динамических нагрузок, передающейся колесами

автомобиля на опорную поверхность 72

2.1.5. Расчетные данные 74

2.1.6. Методика определения динамических нагрузок 76

2.2. Оценка влияния вертикальных колебаний при движении по неровным грунтам... 80

2.2.1. Методика определения показателей плавности хода при движении по

недеформируемым неровным поверхностям 80

2.2.2. Анализ результатов расчета по разработанной методике 86

2.2.3. Методика определения показателей плавности хода при движении по

деформируемой неровной грунтовой поверхности 89

2.3. Определение показателей проходимости колесной машины при

движении по неровной опорной поверхности 96

2.4. Влияние неподрессоренной массы на динамические нагрузки 97

2.5. Динамическая модель, учитывающая совместные вертикальные и

поперечные угловые колебания 101

2.6. Динамическая модель, учитывающая совместные вертикальные и

продольные угловые колебания 104

2.7. Анализ и выбор расчетной динамической модели 108

2.8. Выводы по главе 120

ГЛАВА 3. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА С НЕРОВНЫМ ДЕФОРМИРУЕМЫМ ГРУНТОМ 122

3.1. Математическая модель движения колесной машины по ровной

деформируемой поверхности 122

3.2. Взаимодействие колеса с неровной деформируемой поверхностью 128

3.3. Алгоритм определения взаимных деформаций шины и грунта с учетом

динамических нагрузок 134

3.4. Взаимодействие с грунтом колес второй оси и двухосного колесного

движителя 147

3.4.1. Взаимодействие с грунтом колес второй оси автомобиля .' 147

3.4.2. Алгоритм определения опорно-тяговых характеристик одиночного колеса 149

3.4.3. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на показатели

взаимодействия колесного движителя двухосной машины с грунтовой поверхностью со случайным микропрофилем 155

3.5. Характер продольных и поперечных угловых колебаний при движении по грунтовой поверхности со статическим микропрофилем 164

3.5.1. Влияние периодических неровностей на колебания в продольной плоскости 165

3.5.2. Моделирование колебаний колесной машины в поперечной плоскости 167

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ПЛАВНОСТИ ХОДА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОХОДИМОСТИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДОРОЖНО¬ГРУНТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ 172

4.1. Планирование и методика обработки результатов экспериментов 172

4.1.1. Планирование экспериментов на грунте 172

4.1.2. Статистическая обработка физико-механических свойств грунта 178

4.2. Задачи экспериментальных исследований 179

4.3. Конструкция стенда "активное колесо" 180

4.4. Приборы и измерительная аппаратура 182

4.4.1. Технические характеристики измерительной аппаратуры 182

4.4.2. Программное обеспечение при обработке результатов экспериментов 186

4.4.3. Тарировка измерительных устройств 187

4.4.4. Алгоритм тарировки датчиков ускорений 191

4.5. Методика проведения испытаний 192

4.5.1. Оценка взаимодействия движущегося колеса по ровной деформируемой

поверхности 192

4.5.2. Оценка взаимодействия движущегося колеса по неровной деформируемой

поверхности 193

4.5.3. Методика определения гасящих свойств грунта 194

4.6. Результаты обработки результатов проведенных экспериментов 197

4.7. Экспериментальные исследования влияния динамических нагрузок на

проходимость колесных машин в грунтовых условиях 204

4.7.1. Анализ результатов экспериментов, проведенных другими исследователями 204

4.7.2. Сравнение эксперимента с результатами расчета 206

4

4.7.3. Дорожно-грунтовые испытания проведенные на базе автомобиля ВАЗ 2123

: 209

4.8. Выводы по главе 215

ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 216

5.1. Формирование расчетного маршрута 217

5.2. Исходные данные по колесной машине и грунтам для проведения

расчетов 220

5.3. Методика определения показателей плавности хода и проходимости при

движении по расчетному маршруту 221

5.4. Анализ результатов расчетов 222

5.4.1. Обоснование эффективности выбора динамической пространственной

модели колесной машины 222

5.4.2. Влияние конструктивных параметров колесной машины на показатели

плавности хода и проходимости 226

5.4.3. Влияние параметров подвески на показатели проходимости и плавности хода 231

5.5. Влияние неподрессоренной массы на плавность хода и проходимость КМ

234

5.5.1. Результаты расчетов по оценке оптимальности выбранных параметров

двухосной колесной машины ЗИЛ 432720 236

5.6. Выводы по главе 242

ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ: 243

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: 246

Выводы по диссертации:

1. Разработаны динамические модели колесных машин в виде колебательных систем, в которых подрессоренные и неподрессоренные массы автомобиля связаны между собой упругими и демпфирующими элементами. Колебательные процессы этих масс взаимосвязаны с деформациями неровного мягкого грунта, механические характеристики которого нелинейны и зависят от его физического состояния.

2. Составлено обобщенное математическое описание колебаний многомассовых динамических систем на деформируемом неровном грунте, позволяющее проводить расчет по определению дополнительных динамических нагрузок, действующих на каждое колесо колесной машины. Адекватность пространственной динамической модели подтверждена экспериментальными исследованиями как для одиночного активного колеса так и для двухосного полноприводного автомобиля. Количественное расхождение теоретических и экспериментальных данных находится в диапазоне 6... 12 %.

3. Существенное влияние не параметры колебаний подрессоренных и неподрессоренных масс колесной машины оказывают жесткостные и демпфирующие свойства деформируемой опорной поверхности. Расчеты по определению дополнительных динамических нагрузок при моделировании

л

движения по твердому и деформируемому неровному грунту (А=10‘ ) дают расхождение,до 100 %. Увеличение влажности грунта от базовой W=70 % на 30% приводит к снижению дополнительных динамических нагрузок на 10 %.

4. Определены области применения разработанных динамических моделей. При соотношении подрессоренной массы с неподрессоренной

М і п

— >10 для упрощения расчетов неподрессоренную массу можно не

т

учитывать и рассматривать колебательные процессы с помощью второй динамической системы. При определении дополнительных динамических нагрузок, возникающих в результате моделирования движения по микронеровностям, высота которых больше 5 см, рекомендуется выбирать динамические системы, учитывающие поперечно-угловые колебания (схемы 3 и 5). При расчетах по пространственной динамической модели (схема 5) динамические нагрузки увеличиваются на 25 % относительно плоской модели (схема 4).

5. Для пространственной динамической модели при математическом описании неровностей недеформируемой поверхности, рекомендуется выбирать зависимости для спектральных плотностей микронеровностей, описывающие полусумму и полуразность высот неровностей под левыми и правыми колесами. При движении по деформируемой поверхности

о A'Va

рекомендуется использовать зависимость: S = —и время запаздывания

V

прохождения неровностей колесами второй оси относительно соответствующего переднего колеса.

6. Выявлено влияние числа проходов колес на изменение высот микронеровностей. Для колес второй и последующих осей спектральную плотность микронеровностей необходимо пересчитывать. Эксперименты показали, что среднеквадратическая высота микронеровностей qs в среднем уменьшается на 50 %, после прохода предыдущего колеса при движении «след в след» (грунт: песок, р = 1650кг/м'\ W = 4%).

7. В качестве критерия эффективности работы двухосной колесной машины выбрана средняя скорость ее движения по заданному маршруту, состоящему из участков с различными деформативными свойствами. При проведении расчетов рекомендуется выбирать пятую пространственную модель КМ, как наиболее полно отражающую реальные динамические процессы, возникающие в системе моделирования движения «полноприводная КМ - деформируемый грунт».

8. Проведена сравнительная оценка степени оптимальности параметров подвески, развесовки и шин, заложенных в конструкцию автомобиля ЗИЛ 432720 (на примере движения в дорожно-грунтовых условиях - суглинок, W = 70...90%, р = 1100кг I м3,НГ = 40см). При варьировании

вышеперечисленными параметрами: 1) показатели плавности хода

(виброускорения) выше на 10% для 4 динамической модели относительно 5 модели; 2) глубина колеи на 8% больше у 5 динамической модели относительно 4 модели. Выбранные характеристики подвески и развесовки близки к оптимальным. По расчетам по критерию плавности хода возможна скорость движения 40 км/ч, но за счет двигателя она составляет 15 км/ч