Носов Сергей Владимирович. Взаимодействие колесных, гусеничных и дорожных машин с деформируемым опорным основанием (научные основы) : диссертация ... доктора технических наук : 05.05.03 / Носов Сергей Владимирович; [Место защиты: ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет"]. - Санкт-Петербург, 2009. - 465 с. : 15 ил. РГБ ОД,

Государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Липецкий государственный технический университет»

На правах рукописи

0520.0 900309 -

Сергей Владимирович

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ

МАШИН С ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОПОРНЫМ ОСНОВАНИЕМ

(НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ)

Специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины 05.05.04 - Дорожные, строительные и

подъемно-транспортные машины

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Липецк - 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лист

ВВЕДЕНИЕ 6

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, НАПРАВЛЕНИЕ И ЗАДАЧИ

ИССЛЕДОВАНИЯ 17

1Л. Классификационные признаки нагружения опорного основания элементами ходовых систем колесных, гусеничных и дорожных машин... 17

і

1.2. Анализ и обобщение результатов проведенных исследований

по развитию колесных, гусеничных и дорожных машин и их взаимодействию с деформируемым опорным основанием 22

1.2.1. Анализ особенностей взаимодействия колесных

(

и гусеничных машин с почвогрунтом 22

1.2.2. Анализ особенностей взаимодействия дорожных катков

с уплотняемыми материалами 40

1.3. Анализ существующих подходов к оценке реологических свойств

опорного основания колесных, гусеничных и дорожных машин 52

1.3.1. Принципы построения расчетных моделей

опорного основания колесных, гусеничных и дорожных машин 52

1.3.2. Применение методов теории ползучести при исследовании свойств

опорного основания колесных, гусеничных и дорожных машин 62

1.4. Цель и задачи исследования 80

ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ

КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН 83

2.1. Концептуальная модель выбора параметров и режимов работы

колесных, гусеничных и дорожных машин 83

2.2. Методологический подход к оценке характеристик деформируемого

опорного основания колесных, гусеничных и дорожных машин 95

2.3. Система критериев эффективности функционирования колесных, гусеничных и дорожных машин при выборе их параметров

и режимов работы 118

з

Выводы и предложения 138

ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН С ОПОРНЫМ ОСНОВАНИЕМ 141

3.1. Теоретические исследования взаимодействия жесткого вальца

со слоем опорного основания 141

3.2. Теоретические исследования взаимодействия пневматического

колеса со слоем опорного основания 155

3.2.1. Взаимодействие пневмоколеса трактора со слоем почвогрунта...155

3.2.2. Упрощенная математическая модель взаимодействия

пневматического колеса с опорным основанием 164

3.3. Теоретические исследования взаимодействия гусеничного

движителя с опорным основанием 170

3.3.1. Влияние положения центра давления гусеничного движителя относительно середины опорной поверхности гусеницы

на уплотнение почвогрунта 170

3.3.2. Влияние параметров и режимов работы гусеничного движителя на тягово-сцепные свойства и степень уплотнения

слоя опорного основания 176

Выводы и предложения 187

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРУЕМОГО ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН 191

4.1. Реологические свойства горячей асфальтобетонной смеси

верхних слоев дорожных одежд 191

4.2. Определение прочностных характеристик слоев

горячих асфальтобетонных смесей 213

4.3. Реологические свойства почвогрунтов и устройства

для их определения 218

4.4. Особенности реологических свойств снежного покрова 228

Выводы и предложения 235

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЕСНЫХ,

ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН ПРИ УЧЕТЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ 239

5.1. Оценка тяговой динамики колесных машин 239

5.1.1. Анализ тяговой динамики колесного трактора при работе

на мягких почвах 239

5.1.2. Повышение тяговой динамики колесных тракторов путем

перераспределения моментов на ведущих мостах 243

5.2. Оценка плавности хода колесных, гусеничных

и дорожных машин 247

5.2.1. Обобщенные математические модели 247

5.2.2. Моделирование рабочего процесса вибрационного

дорожного катка с вакуумным устройством 252

5.2.3. Моделирование системы "дорога - трактор - водитель"

при оценке плавности хода 266

5.2.4. Моделирование плавности хода пропашного трактора 274

5.2.5. Моделирование плавности хода гусеничного трактора 281

5.3. Оценка динамики колесных тракторов при расчете трансмиссии

на крутильные колебания 298

Выводы и предложения 309

ГЛАВА 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН 314

6.1. Исследование рабочих процессов дорожных катков 314

6.1.1. Определение рациональных значений контактных

давлений под вальцом катка 314

6.1.2. Полевые испытания дорожных гладковальцовых катков

с оценкой качества производства работ 320

6.1.3. Исследование технических характеристик

бесконтактной вакуумной камеры к дорожному катку 334

6.2. Исследование параметров и режимов работы

колесных тракторов 343

6.2.1. Полевые испытания колесного трактора по оценке

уплотняющего воздействия на почву 343

6.2.2. Полевые испытания колесного трактора по оценке

его плавности хода 347

6.2.3. Полевые испытания колесного трактора по оценке

динамической нагруженности трансмиссии 351

6.3. Исследования параметров и режимов работы

гусеничного трактора 355

Выводы и предложения 364

ГЛАВА 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПАРАМЕТРОВ

КОЛЕСНЫХ, ГУСЕНИЧНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН 368

7.1. Метод и результаты расчета режимов работы и параметров

дорожных катков 368

7.2. Метод и результаты расчета режимов работы и параметров

колесных тракторов 385

7.3. Метод и результаты расчета режимов работы и параметров

гусеничных тракторов 404

Выводы и предложения 407

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ 410

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 414

ПРИЛОЖЕНИЯ 444

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Осуществлено решение научной проблемы при исследованиях процес­сов взаимодействия колесных, гусеничных и дорожных машин (КГДМ) с деформируемым опорным основанием, предусматривающее комплексное решение задач развития теории движения на основе реологии опорного основания КГДМ и базирующееся на аналитическом описании процессов взаимодействия КГДМ и их отдельных систем с опорным основанием. Эффективность решения этой проблемы состоит в том, что оно предпола­гает более глубокое проникновение в физическую сущность процессов взаимодействия КГДМ с деформируемым опорным основанием, способ­ствует лучшему пониманию этой сущности и позволяет определять пути воздействия на процессы с целью улучшения работы машин.
2. Выполненное аналитическое описание процессов дало возможность раз­работать научные основы взаимодействия КГ ДМ с деформируемым опор­ным основанием, которые включают: математические модели, отражаю­щие сущность и динамику процессов; показатели оценки последствий взаимодействия и методы их определения для различных ходовых систем и условий работы машин; рекомендации, направленные на решение про­блемы. Важная особенность аналитического описания процессов взаимо­действия КГДМ с опорным основанием состоит в его универсальности, когда оно представляет собой решение общей задачи теории взаимодейст­вия мобильных машин с деформируемым опорным основанием и пригод­но для описания частных случаев взаимодействия отдельных машин и их систем путем подстановки соответствующих значений параметров моде­лей. Это служит методической основой использования частных случаев для достоверной оценки показателей взаимодействия отдельных КГДМ с деформируемым опорным основанием.
3. Взаимодействие различных движителей КГДМ с деформируемым опор­ным основанием происходит по сложным законам, определяемым техно­логическими и конструктивными параметрами машин, а также парамет­рами состояния слоя опорного основания. В общем виде модули деформа­ции и коэффициент поперечного расширения слоя опорного основания, его предел прочности, коэффициенты сцепления, сопротивления передви­жению и буксования являются функционалами от указанных параметров, а также от времени. В связи с этим решена задача по увязке тяговой дина­мики, эффективной работы КГДМ и их основных систем с реологически­ми свойствами опорного основания, что на сегодняшний день имеет важ­ное научное и практическое значение.
4. Предложен методологический подход к оценке инвариантных значений параметров деформируемого опорного основания КГДМ, основанный на теории деформирования нелинейных упруго-вязко-пластичных материа­лов с применением теории наследственной ползучести и экспоненциаль­но-степенных ядер, позволяющий обеспечивать необходимую точность при описании большинства деформируемых опорных оснований КГДМ.
5. Разработаны теоретико-методологические основы и методы выбора па­раметров и режимов работы КГДМ, отражающие достаточно тесные вза­имные связи между реологическими свойствами опорного основания, ре­жимами работы и параметрами КГДМ с учетом особенностей взаимодей­ствия КГДМ с опорным основанием, включающих интенсивность измене­ния и время действия нагрузок. Разработана концептуальная модель выбо­ра параметров и режимов работы КГДМ, позволяющая производить реше­ния задачи, начиная от начального состояния процесса и переходя к их множеству на основе критериев оптимальности. Выполненный анализ по­становок задач выбора параметров и режимов работы КГДМ позволил разработать концепцию выбора параметров и режимов работы КГДМ в

*I*

иерархических средах системы "человек - машина - рабочий орган - объ­ект воздействия - окружающая среда" на основе развития реологии опор­ного основания.

1. Найдены приемы корректирования определяемых показателей работы движителей КГДМ путем учета дополнительных факторов: влияния ско­рости движения машин и динамических нагрузок со стороны традицион­ных движителей через интегральные уравнения связей между развиваю­щимися деформациями и действующими напряжениями в опорном осно­вании; влияния реологических особенностей его материала через парамет­ры функций скоростей ползучести и релаксации, представленных в виде экспоненциально-степенных выражений; влияния параметров состояния слоя опорного основания и параметров грунтозацепов движителей КГДМ, представленного через функции подобия в виде уравнений регрессии, по­лученных экспериментальным путем.
2. Проведено расчетно-теоретическое обоснование методов выбора режи­мов работы и параметров КГДМ с основными типами движителей. Разра­ботанные математические модели взаимодействия жесткого вальца, пнев­матического колеса и гусеничного движителя с деформируемым опорным основанием дали возможность объяснить многие противоречивые резуль­таты различных исследователей. Установлено, что максимальная произво­дительность виброкатка с ВУ лежит в интервале значений скоростей от 0,4 до 0,85 м/с, который соответствует увеличенному значению массы виброкатка с ВУ, что отвечает общей тенденции увеличения массы вибро­катков и применения их с постоянными параметрами вибрации на проме­жуточной стадии уплотнения в дорожном строительстве. Выявлено, что при обеспечении несущей способности асфальтобетонной смеси эффек­тивность вибрационных катков, по сравнению с катками статического действия, повышается к концу процесса уплотнения. Установлено также, что при определенных условиях работы колесного движителя увеличение скорости машины может приводить к уменьшению колеи при одновре­менном увеличении плотности материала опорного основания.
3. Разработаны методы оценки тяговой динамики, плавности хода и дина­мической нагруженности трансмиссии КГДМ. Установлено, что измене­ние параметров состояния слоя опорного основания в сочетании с измене­нием характеристик силового воздействия на него со стороны ходовой части КГДМ существенно влияет на амплитудные значения колебаний, изменяя их величины в 2...2,8 раза. При этом влияние влажности почвог- рунта наиболее значительно для всех КГДМ, а влияние толщины дефор­мируемого слоя опорного основания на изменение колебаний имеет большее значение для КГДМ небольшой массы.
4. Предложены способы определения физико-механических характеристик различных опорных оснований и разработаны устройства для их осущест­вления, позволяющие оперативно как в лабораторных, так и в полевых ус­ловиях получать значения искомых величин. В результате лабораторных исследований получены уравнения регрессии, характеризующие измене­ние модулей деформаций слоя опорного основания в зависимости от вер­тикальной и горизонтальной нагрузок на штампе, параметров состояния опорного основания, параметров грунтозацепов колесных и гусеничных движителей, а также параметров вибрации вальцов дорожных катков.
5. Разработаны конструкции вакуумных камер бесконтактного типа (БВК) к дорожному катку (патенты РФ №1832784 и №2011728), позволяющие повысить долговечность дорожных покрытий, повысить эффективность функционирования уплотняющих машин. При испытаниях макетного и экспериментального образцов БВК исследованы и определены ее основ­ные технические характеристики, а также подтверждена работоспособ­ность предложенной конструкции.
6. Полевые испытания дорожных катков ДУ-54 и ДУ-47А, а также тракто­ров ЛТЗ-55А и ДТ-75М по оценке уплотняющей способности, тяговой ди­намики, плавности хода, динамической нагруженности трансмиссии пока­зали незначительную разницу между экспериментальными и расчетными значениями показателей, что подтверждает правомерность теоретических положений. Научная, практическая и экономическая значимость получен­ных результатов подтверждены их внедрением на ряде предприятий.