

**ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Новодеровой Анны Павловны**

на тему:

**«Моделирование заноса колесного аппарата»
по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

Диссертационная работа Новодеровой А. П. посвящена построению математических моделей, описывающих начальные стадии заноса четырехколесного транспортного средства на горизонтальной опорной поверхности, а также применению указанных моделей для качественного исследования движения при блокировке или пробуксовке колес ведущей оси. При различных предположениях о характере контактных сил в работе подробно изучен ряд возможных сценариев потери сцепления колес транспортного средства с опорной поверхностью. Исследование выполнено аналитически на основе современных методов разделения движений и теории возмущений.

Актуальность избранной темы. Изучение динамики колесных транспортных средств неизменно привлекает интерес специалистов очень широкого круга. Это обусловлено как повышением требований к безопасности движения, так и стремлением разработчиков создавать модели автомобилей, обладающие более высокими техническими характеристиками. Методы математического моделирования движения являются мощным инструментом для решения этих задач. Разработка математических моделей, описывающих явление заноса транспортного средства, и применение для их исследования аналитических методов теоретической механики позволяет получить важные качественные выводы о характере движения в экстремальной ситуации, а также сформулировать полезные рекомендации

по совершенствованию систем активной безопасности движения, устанавливаемых на современных автомобилях. Таким образом, тематика диссертационного исследования Новодеровой А. П. является исключительно актуальной и имеет также важное прикладное значение.

Анализ содержания и результатов диссертационной работы. Диссертация состоит из двух глав, введения, заключения, приложения и списка литературы. Во **введении** обоснована актуальность работы, дана ее общая характеристика и кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе дан обстоятельный обзор, как классических результатов, так и современного состояния в предметной области диссертационного исследования. Сформулирована постановка задачи и на основе упрощенной велосипедной модели получены уравнения движения. В рамках такой модели передняя и задняя оси автомобиля заменяются соответственно передним и задним колесом, предполагается, что переднее колесо может поворачиваться относительно вертикальной оси, а наклонами корпуса пренебрегают. Рассмотрены следующие случаи возникновения заноса при прямолинейном движении автомобиля: занос передней или задней ведущей оси (колеса) при ее блокировке или пробуксовке, занос обеих осей при заблокированной или пробуксовывающей ведущей передней или задней оси. Для каждого из этих случаев проведена линеаризация уравнений движения по углам поворота переднего колеса и корпуса автомобиля. Полученные таким образом приближенные уравнения исследованы методом фазовой плоскости. Показано, что при пробуксовывающих передних колесах, а также в случае заблокированных или пробуксовывающих задних колесах занос автомобиля снижается при повороте руля в сторону противоположную заносу. Получены аналитические зависимости поперечной и угловой скорости корпуса автомобиля от его продольной скорости. Установлено, что в случае заноса обеих осей (при заблокированной или пробуксовывающей ведущей оси) на достаточно малом промежутке времени происходит

восстановление сцепления колес ведомой оси. Для всех рассмотренных сценариев заноса определена область фазового пространства приближенной системы уравнений движения, в которой применима используемая математическая модель. Была также рассмотрена математическая модель, учитывающая моменты трения верчения, возникающие в области контакта колес с опорной плоскостью. Показано, что учет этих моментов не приводит к качественно новым результатам при изучении заноса автомобиля.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию динамики при попадании транспортного средства на «микст» – участок дороги, на котором коэффициенты трения в области контакта колес с опорной поверхностью могут различаться. В этом случае в диссертации рассматривается полная механическая модель двухосного четырехколесного транспортного средства, а для описания контактных сил и моментов трения верчения используется модифицированная модель увода, позволяющая учитывать как поперечную, так и продольную деформации колеса. Исследование уравнений движения проводится на основе методов разделения движения. С этой целью вводятся характерные масштабы изменения кинематических характеристик: продольной скорости корпуса автомобиля, его поперечной и угловой скоростей, поперечной и продольной скоростей точек контакта колес с опорной поверхностью, угловой скорости выходного вала двигателя. В результате автор приходит к нормализованным уравнениям, содержащим малый параметр при старшей производной. Анализ этих уравнений выполняется на основе асимптотических методов, разработанных для сингулярно возмущенных систем дифференциальных уравнений. В результате этого анализа изучен процесс выравнивания контактных сил на колесах ведущей оси, получены аналитические оценки импульса угловой скорости корпуса автомобиля, попавшего на «микст». Установлено, что динамические процессы развиваются по сценарию, при котором полной потери сцепления с опорной плоскостью не происходит, а возможно лишь скольжение колеса, попавшего на участок дороги с меньшим коэффициентом

трения. Показано, что, как и в случае велосипедной модели, учет моментов трения верчения не приводит к качественно новым результатам при изучении явления заноса автомобиля.

В заключении работы сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

В приложении приведены используемые в работе теоретические положения теории сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Исследование, представленное в диссертационной работе, выполнено на основе современных методов разделения движений и асимптотических методов исследования сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений. Выводы, полученные в работе, строго аналитически доказаны. Получены условия применимости рассмотренных в работе математических моделей.

Достоверность и новизна.

В диссертации проведено детальное исследование динамических процессов, возникающих при потере сцепления колес транспортного средства в случае его движения по прямолинейному участку дороги, и получены следующие новые результаты. Разработаны математические модели, позволяющие проводить аналитическое исследование влияния рулевого управления на эволюцию курсовой устойчивости движения автомобиля при блокировке или пробуксовке колес ведущей оси. Установлено, что моменты трения верчения не оказывают существенного влияния на качественный характер движения автомобиля в режиме заноса, но могут оказать стабилизирующее действие и сократить время восстановления сцепления колес с опорной поверхностью. Описаны процессы выравнивания контактных сил на колесах ведущей оси в случае попадания автомобиля на «микст». Получены аналитические оценки импульса угловой скорости корпуса автомобиля, возникающего после выравнивания контактных сил.

Результаты диссертационного исследования полностью представлены в публикациях соискателя, а также прошли апробацию на научных семинарах и конференциях. Достоверность результатов диссертационной работы гарантируется корректностью постановки задачи и применением строгих аналитических методов исследования, а также подтверждается хорошим согласованием результатов работы с выводами, полученными ранее другими исследователями.

К работе имеются следующие замечания.

1. В работе рассматриваются случаи заноса при блокировке только ведущей оси автомобиля. Следовало бы дать разъяснение, почему ведомая ось предполагается незаблокированной. В реальных транспортных средствах тормозная система блокирует все четыре колеса.
2. Выводы, полученные в диссертационной работе аналитическими методами, следовало бы подтвердить результатами численного интегрирования уравнений движения.
3. Известно, что эффективным методом выхода из заноса на автомобиле с передним приводом является увеличение «газа», т.е. подача разгонного момента на ведущую ось. Было бы интересно рассмотреть динамику системы при заносе задней оси и увеличении угловой скорости колес передней ведущей оси.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация

оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Соискатель Новодерова Анна Павловна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
Заведующий кафедрой «Мехатроники и теоретической механики»
Институт № 8 «Информационные технологии и прикладная математика»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»

Бардин Борис Сабирович

07.12.2020

Контактные данные:

тел.: 8(499) e-mail: bsbardin@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.02.01 – «Теоретическая механика».

Адрес места работы:

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4,
Московский авиационный институт, кафедра № 802 «Мехатроника и
теоретическая механика»
Тел.: 8-499-158-44-66; e-mail: bardinbs@mai.ru

Подпись сотрудника МАИ
Б.С.Бардина удостоверяю:

Директор дирекции института № 8 МАИ

С.С.Крылов
07.12.2020

