

Разработка математической модели для подбора параметров алгоритма системы стабилизации кузова городского автобуса в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел

© А.И. Комиссаров^{1,2}, Е.Б. Сарач¹, Б.Б. Косицын¹,
В.А. Горелов¹, А.С. Косолапов^{1,3}

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

² НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

³ Научно-образовательный центр «КАМАЗ — МГТУ им. Н.Э. Баумана»,
Москва, 105005, Россия

Разработана пространственная нелинейная динамическая модель для проведения сравнительного анализа алгоритмов системы стабилизации кузова городского автобуса. Модель реализована в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел «Универсальный механизм». Представлены модели элементов системы поддрессирования, рулевого управления, трансмиссии и исполнительных устройств системы стабилизации. Алгоритм системы стабилизации реализован в модуле Simulink пакета MATLAB и подключен к модели автобуса в комплексе «Универсальный механизм» в виде динамически подключаемой библиотеки (DLL). С использованием разработанной математической модели проведено исследование движения автобуса при входе в поворот радиусом 35 м для разных комбинаций параметров алгоритма системы стабилизации кузова. Установлено влияние ходов и скоростей перемещения исполнительных механизмов системы стабилизации на изменение угла крена кузова в повороте. Разработанная модель может применяться для оценки эффективности работы и подбора параметров алгоритмов системы стабилизации кузова с учетом динамики пространственного движения автобуса при выполнении различных маневров.

Ключевые слова: многомассовая модель автомобиля, совместное моделирование, динамика автомобиля, система стабилизации кузова, комплекс «Универсальный механизм», Simulink

Введение. Для проведения сравнительного анализа алгоритмов систем стабилизации кузовов автобусов и автомобилей в условиях, приближенных к условиям реальной эксплуатации, на этапе проектирования требуется создание пространственных динамических моделей с учетом особенностей кинематики подвески и рулевого привода. В таких моделях число тел может достигать нескольких десятков, что существенно усложняет аналитический вывод уравнений движения. Эффективным инструментом для разработки подобных динамических моделей являются программные комплексы автоматизированного анализа динамики систем тел [1–4]. В этих комплексах система представляется в виде набора твердых тел, объединенных шарнирами и силовыми связями из библиотеки типовых элементов. Формирование уравнений движения происходит автоматически, а также имеются

встроенные средства для их численного решения. Кроме того, большинство таких комплексов позволяет встраивать в динамическую модель транспортного средства разработанные пользователями модели систем управления в виде динамически подключаемых библиотек (DLL) [5–8].

Данная работа посвящена созданию пространственной динамической модели городского автобуса для проведения сравнительного анализа алгоритмов работы системы стабилизации кузова при выполнении различных маневров в программном комплексе автоматизированного анализа динамики систем тел «Универсальный механизм» с подключением реализованного в модуле Simulink пакета MATLAB алгоритма системы управления.

Динамическая модель автобуса. В качестве объекта исследования выбран городской автобус полной массой 18 000 кг с колесной формулой 4×2, формулой рулевого управления 1-0, независимой подвеской передних колес и зависимой балансирной подвеской задних колес. Рассматривали два варианта упругих элементов подвески — пневматические и пружинные.

Структура модели автобуса с двумя вариантами подвески приведена на рис. 1. Модель включает в себя следующие отдельные подсистемы:

«Кузов» — модель поддрессоренной части, включающей в себя кузов и все агрегаты, установленные на нем;

«Передняя подвеска» — модель подвески первой оси автобуса с рулевым приводом;

«Задняя подвеска» — модель подвески второй оси автобуса;

«Колеса» — модели взаимодействия колес с опорным основанием.

Модели упругих и демпфирующих элементов. Пневморессоры, пружины и амортизаторы моделируются в виде силовых взаимодействий без учета инерционности. Модель упругой характеристики пневморессоры с учетом ограничителей хода описывается следующей системой уравнений:

$$P = \begin{cases} \frac{c_{0b}h_{0b}(H_{bump} - H)}{h_{0b} - (H_{bump} - H)} + P_{st1} \left(\frac{H_0}{H_{bump}} \right)^n, & H \leq H_{bump}; \\ P_{st1} \left(\frac{H_0}{H_{bump}} \right)^n, & H_{bump} < H < H_{max}; \\ -\frac{c_{0b}h_{0b}(H - H_{max})}{h_{0b} - (H - H_{max})} + P_{st1} \left(\frac{H_0}{H_{bump}} \right)^n, & H \geq H_{max}, \end{cases} \quad (1)$$

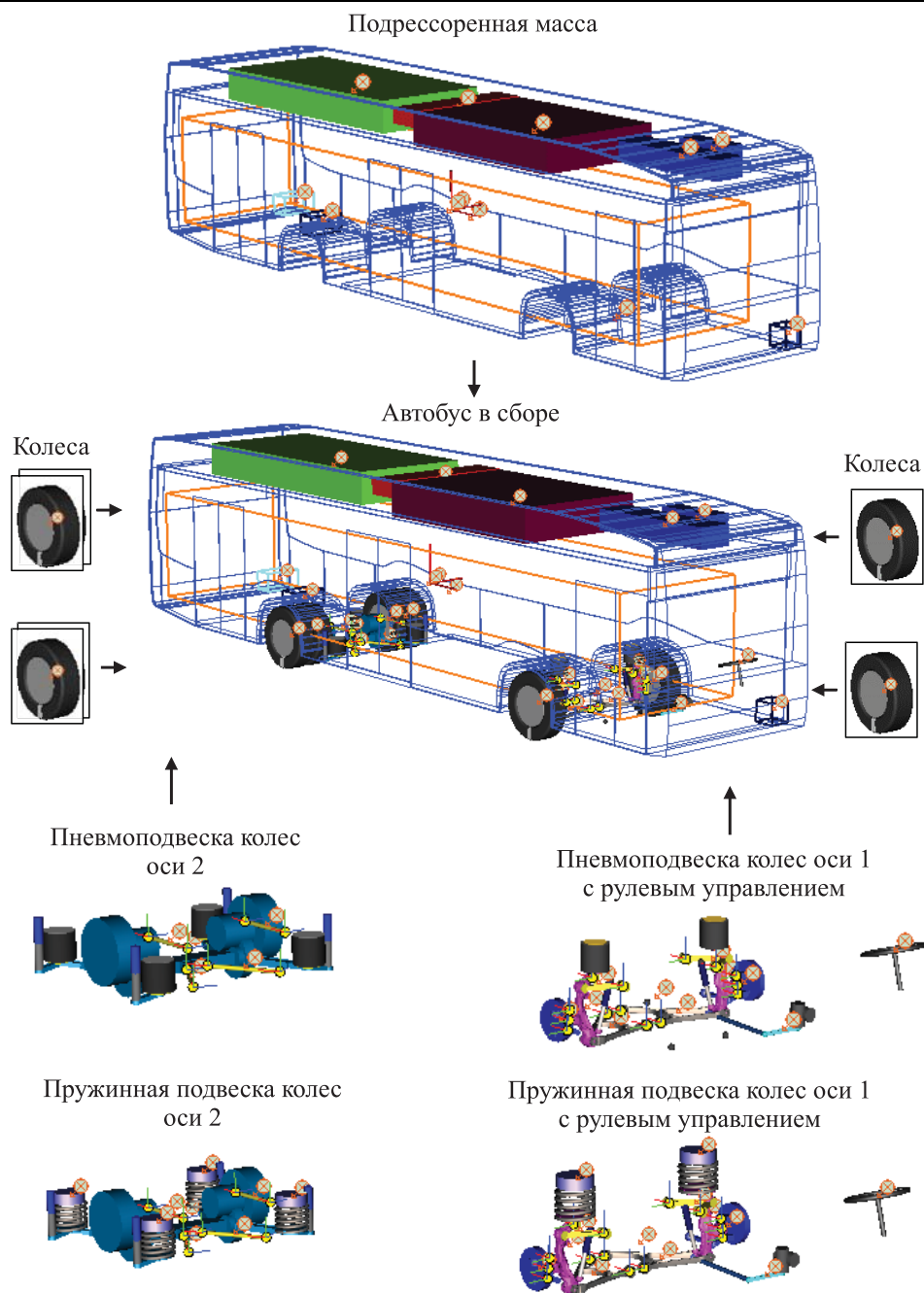


Рис. 1. Структура динамических моделей автобуса с пневматической и пружинной подвеской

где P — сила, возникающая в пневморессоре; c_{0b} — начальная жесткость отбойника; h_{0b} — начальная высота отбойника; P_{st1} — нагрузка на пневморессору в статике; H_{bump} — высота пневморессоры при