

УДК 621.9

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Э. И. ЯСЮКОВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Интеллектуальная транспортная система (ИТС) представляет собой единое информационное пространство, объединяющее автомобили, дорожное оборудование, диспетчерские службы и центры организации дорожного движения (ЦОД) на территории всей страны [1–3]. В дорожном движении участвуют легковые автомобили с прицепами и без прицепов, а также одноосные и многоосные грузовые автомобили.

ИТС позволяет контролировать безопасность и мобильность дорожного движения и поэтому требует сбора информации о потоках автомобилей на всех транспортных магистралях. Организация сбора указанной информации требует значительных затрат, поэтому для повышения эффективности работы ИТС необходимы специальные исследования процессов управляемого курсового движения колесных транспортных средств по транспортным магистралям [4].

В настоящей работе предлагается методика управляемого курсового движения легковых автомобилей, которая содержит имитационную математическую модель и программное обеспечение.

Имитационная математическая модель состоит из динамических уравнений и уравнений кинематических связей колес автомобиля с опорной поверхностью со случайным микро- и макропрофилем [5].

Динамические уравнения представляют собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих вертикальную динамику, курсовое движение и процессы взаимодействия движителей автомобиля с опорной поверхностью дороги.

Для вывода динамических уравнений использовалась математическая схема Лагранжа второго рода, а процессов взаимодействия движителей с опорной поверхностью – теория Келдыша.

Разработанная математическая модель автомобиля содержит десять дифференциальных уравнений второго порядка и четыре дифференциальных уравнения первого порядка, описывающих кинематические связи его колес с дорожной поверхностью.

В качестве независимых координат, для которых получены дифференциальные уравнения движения, были выбраны линейные перемещения центра масс автомобиля по продольной  $Ox$ , поперечной  $Oy$  и вертикальной  $Oz$  осям; вертикальные перемещения центров масс колес по вертикальным осям; угол

поворота остова автомобиля вокруг проходящей через его центр масс вертикальной оси (курсовой угол); угловые перемещения подрессоренной массы автомобиля вокруг продольной и поперечной осей. Уравнения кинематических связей колес автомобиля с опорной поверхностью содержат изменяющиеся во времени скорости углов увода шин его колес.

Дифференциальные уравнения математической модели содержат такие параметры, как массогеометрические и инерционные характеристики, моменты инерции автомобиля относительно его продольной, поперечной и вертикальной осей, расстояние от центра масс автомобиля до центров его переднего моста и задней оси; половины ширины переднего моста и задней оси, упругодиссипативные параметры, а также массовые и упругодиссипативные параметры колес.

Для имитационного моделирования курсового движения автомобиля по реальным дорогам разработана подсистема моделирования микро- и макропрофиля, параметры которого в виде высот неровностей формируются в специальном файле. Разработанная методика позволяет также использовать параметры профилей реальных дорог, неровности которых содержатся в специальном массиве вертикальных отметок, полученных с интервалом не более 0,25 м.

На основе полученной математической модели разработано программное обеспечение имитационного моделирования курсового управляемого движения легкового автомобиля по различным категориям дорог.

Для проверки работоспособности разработанной математической модели и программного обеспечения были проведены необходимые расчетные исследования.

Разработанная методика позволяет выполнять имитационное моделирование управляемого курсового движения легкового автомобиля по любым трассам с учетом реального микро- и макропрофиля и может быть использована для интеллектуальной транспортной системы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евстигнеев, И. А.** Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / И. А. Евстигнеев. – Москва : Перо, 2015. – 132 с.
2. **Жанказиев, С. В.** Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: МАДИ, 2016. – 120 с.
3. **Жилейкин, М. М.** Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики / М. М. Жилейкин. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 238 с.: ил.
4. **Ясюкович, Э. И.** Имитационное моделирование вертикальной динамики и курсового движения легкового автомобиля / Э. И. Ясюкович // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. В. Прыродазнаўчыя навукі (матэматыка, фізіка, біялогія). – 2020. – № 1 (55). – С. 35–43.
5. **Левин, М. А.** Теория качения деформируемого колеса / М. А. Левин, Н. А. Фуфаев. – Москва: Наука, 1989. – 269 с.