

УДК 629.3.018.7

ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛОВ КРЕНА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОВОРОТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО МАССЫ

Ершов Владимир Сергеевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vershov21@gmail.com

Хамков Алексей Александрович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vershov21@gmail.com

Акулов Алексей Андреевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vershov21@gmail.com

Шадрин Сергей Сергеевич, д-р.техн.наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, shadrin@madi.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты натурных испытаний автомобилей, проводимых с целью выявления значений изменения угла крена в зависимости от увеличения массы транспортных средств, фиксируемых посредством сенсорных частей смартфона. Произведена обработка полученных данных посредством программного комплекса MATLAB.

Ключевые слова. Транспортное средство, углы крена, изменение массы, MATLAB, продольные и поперечные ускорения.

THE CAR ROLL ANGLES RESEARCH WHEN CORNERING IN DEPENDANCE ON THE CHANGE IN ITS MASS

Ershov Vladimir S., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vershov21@gmail.com

Khamkov Aleksey A., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vershov21@gmail.com

Akulov Aleksey A., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vershov21@gmail.com

Shadrin Sergey S., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, shadrin@madi.ru

Abstract. The article presents the results of full-scale tests of cars carried out in order to identify the values of the roll angle change depending on the increase in the mass of the vehicles, which are recorded by means of the sensor parts of the smartphone. The obtained data were processed using the MATLAB software package.

Key words. Vehicle, roll angles, change in mass, MATLAB, longitudinal and lateral acceleration.

Введение

Работа посвящена исследованию углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы. Сенсорная часть современных смартфонов позволяет в реальном времени осуществлять запись множества параметров [1,2], среди которых выделим кинематические параметры движения самого устройства, а также навигационные данные. Цель данной работы: определить изменение углов крена автомобилей при прохождении поворотов за счет изменения массы, путём проведения трёх заездов в рамках выбранного маршрута с использованием балласта.

Для достижения поставленной цели сформулируем задачи:

1. Построение графиков функции $V(t)$, построение непрерывной функции;
2. Построение графиков фактически записанных проекций ускорения в функции времени;
3. Построение графиков фактически записанных значений углов поворота относительно продольной и поперечной осей (углы крена и рысканья);
4. Построение траектории движения посредством программы OBDLink;
5. Определение максимальных значений углов крена ТС
6. Определение влияния дополнительной массы на изменение значений углов крена.

Подготовка и проведение эксперимента

Методика проведения эксперимента: для реализации поставленной цели было решено провести дорожное испытание в рамках которого было совершено три проезда согласно маршруту. Основная задача –

прохождение поворотов на выбранном маршруте по наименьшему возможному радиусу с соблюдением постоянной скорости для каждого из трех заездов.

Используемая измерительная и регистрирующая аппаратура: смартфон Apple Iphone 7 Plus, диагностический сканер OBDII, приложения AndroSensor и OBDLink.

Объекты испытаний: транспортное средство категории M1 – Lada Vesta SV Cross, 2020 года выпуска; транспортное средство категории M1 – Ford Focus, 2008 года выпуска. Фото автомобилей представлены на рис. 1.

Условия испытаний: шины зимние шипованные, температура воздуха +2°C, мокрый асфальт. Масса каждого транспортного средства в зависимости от номера заезда приведена в табл. 1.

Таблица 1

Значения массы ТС при выполнении испытаний

Название ТС	Масса, кг		
	Заезд №1	Заезд №2	Заезд №3
LADA Vesta	1230	1305	1380
Ford Focus	1225	1375	1525

Записываемые в процессе экспериментов данные:

- ускорения (продольное, боковое, вертикальное);
- долгота;
- широта;
- скорость движения по данным GPS/Glonass
- углы поворота относительно 3-х осей (крена, рысканья, тангажа)
- геолокация автомобиля (широта, долгота).

Фактическая частота записи данных составила: 10 Гц

Формат записываемых данных – CSV (строчный с разделителями)

Крепление смартфона при испытаниях – неподвижно относительно объекта испытаний.

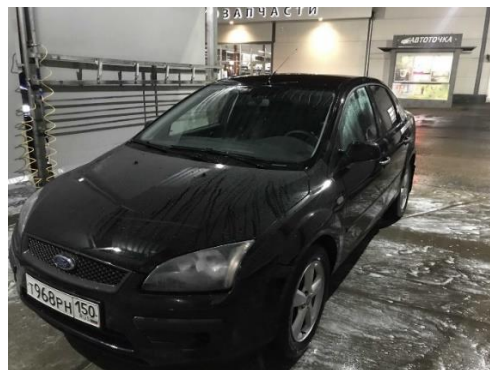


Рис. 1. Объекты испытаний. а) LadaVesta SV Cross; б) Ford Focus

Обработка экспериментальных данных

Обработка экспериментальных данных осуществлялась в программном комплексе MATLAB [3].

Маршрут испытаний построен посредством программы OBDLink и представлен на Рисунке 2.

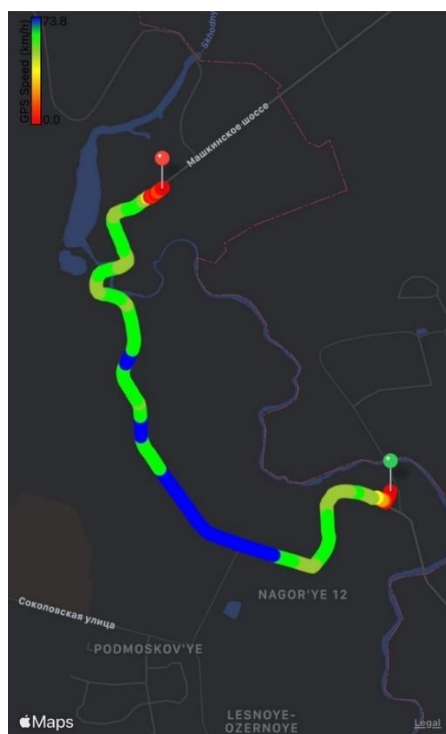
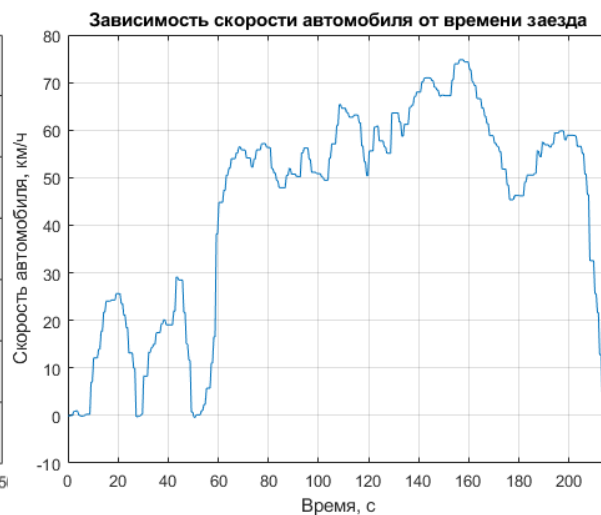
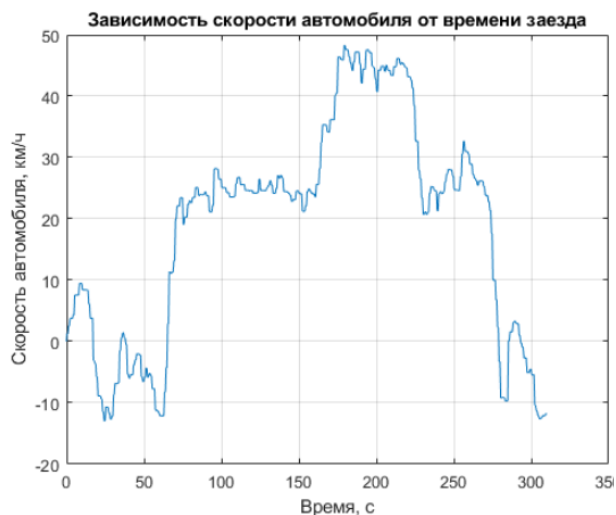


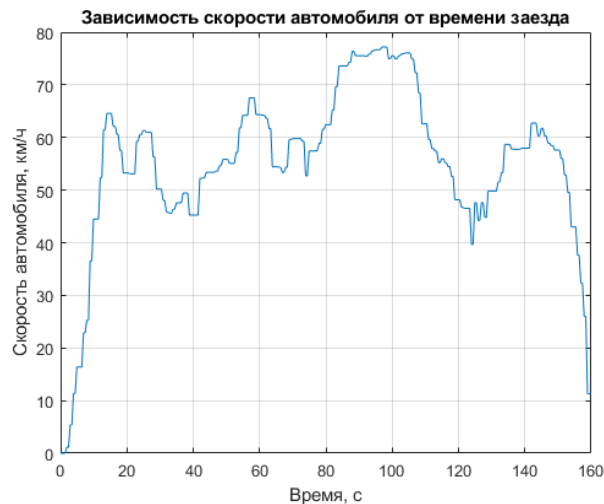
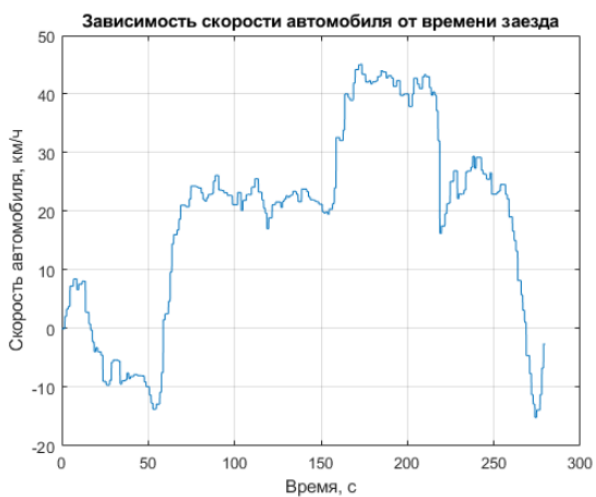
Рис. 2. Маршрут испытаний

Обработанные графики скорости движения автомобилей в трех заездах от функции времени представлены на рис. 3.

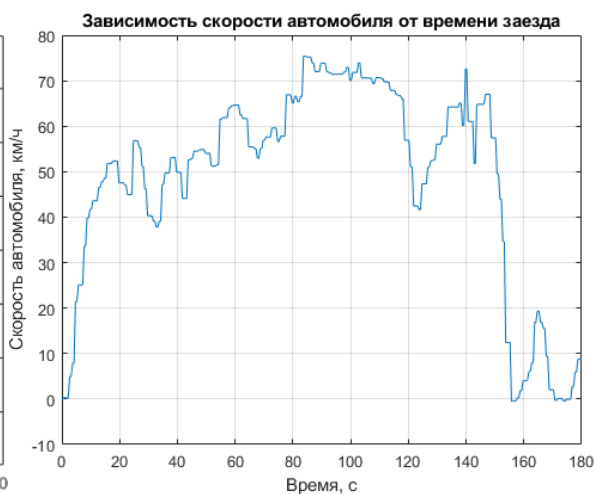
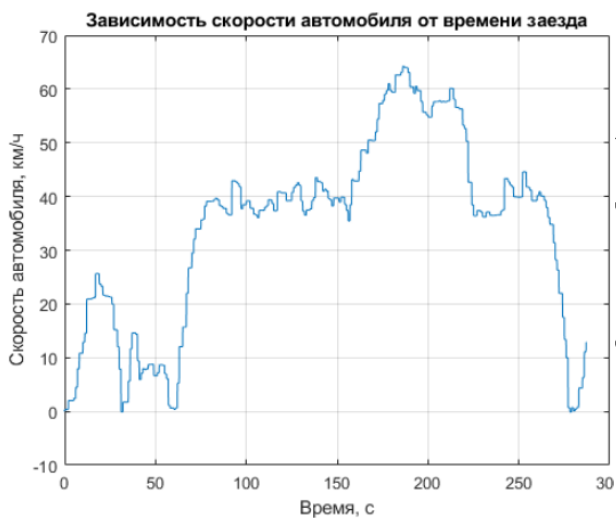
Заезд №1



Заезд №2



Заезд №3



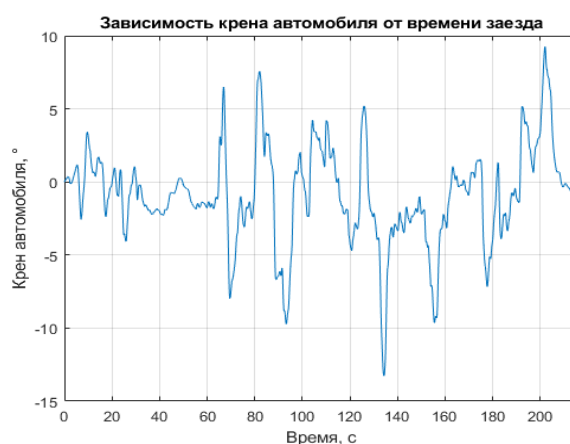
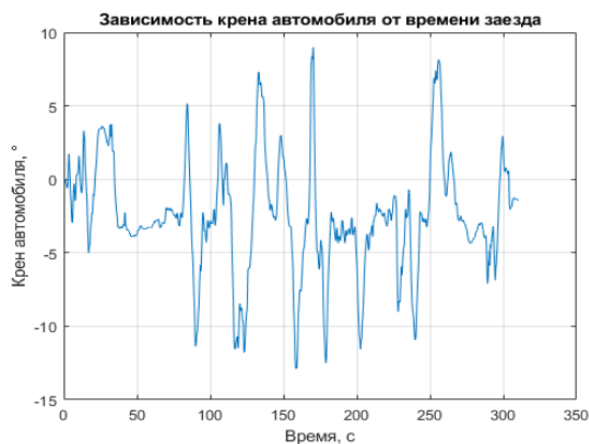
а)

б)

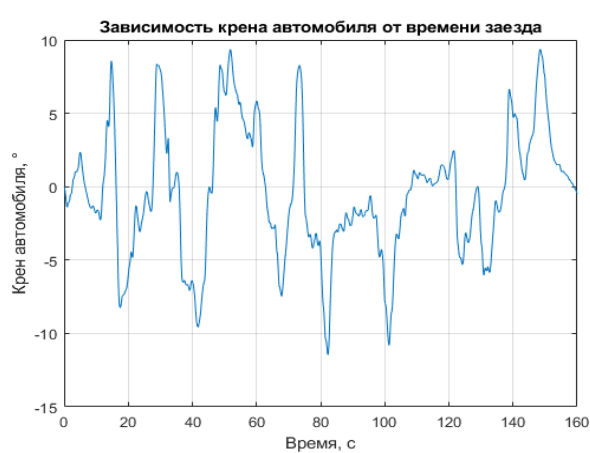
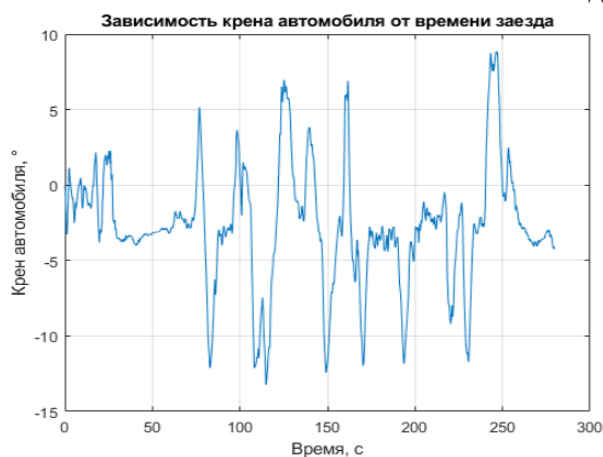
Рис. 3. Зависимости скорости автомобилей от времени заезда,
а) Lada Vesta SV Cross; б) Ford Focus

Обработанные графики углов крена автомобилей в трех заездах от функции времени представлены на рис. 4.

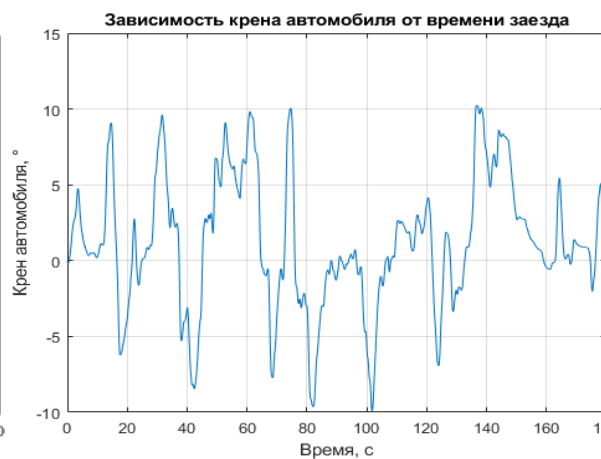
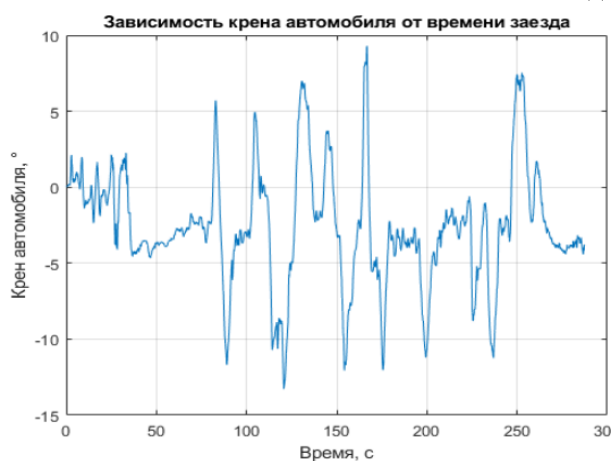
Заезд №1



Заезд №2



Заезд №3



а)

б)

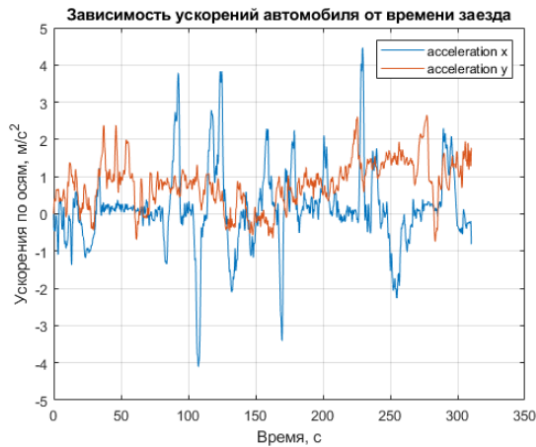
Рис. 4. Зависимости углов крена автомобилей от времени заезда,

а) Lada Vesta SV Cross; б) Ford Focus

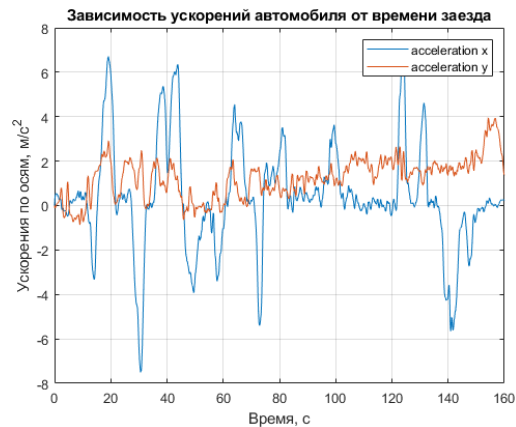
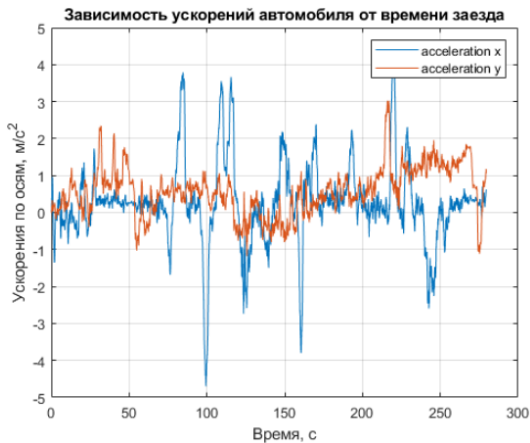
На Рисунке 5 отражены изменения значений ускорений в продольном и поперечном направлениях в трех заездах от функции

времени. С целью повышения информативности графиков при обработке использовалась функция сглаживания. Начальное отклонение от нулевого значения также учтено при работе с данными.

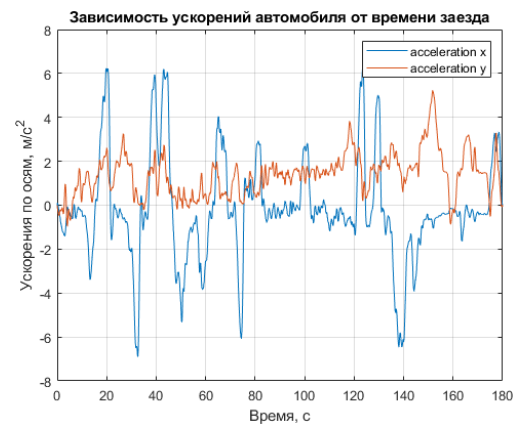
Заезд №1



Заезд №2



Заезд №3



а)

б)

Рис. 5. Зависимости ускорений автомобилей от времени заезда,

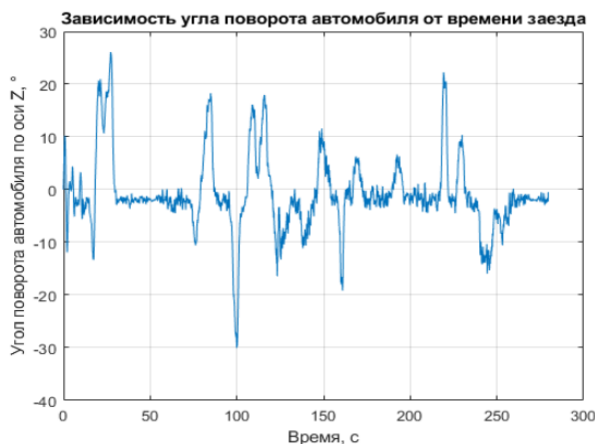
а) Lada Vesta SV Cross; б) Ford Focus

Углы поворота ТС относительно оси Z показывают изменение траектории движения автомобиля т.е моменты прохождения поворотов. Данные зависимости представлены на рис. 6.

Заезд №1



Заезд №2



Заезд №3



а)

б)

Рис. 6. Зависимости углов поворота автомобилей относительно оси Z от времени заезда, а) Lada Vesta SV Cross; б) Ford Focus

Оценка результатов углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы

Наибольший интерес для исследования среди всех полученных данных представляют значения углов крена автомобилей [4], а также значения ускорений в поперечном направлении, которые представлены в сравнительных табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Угол крена автомобиля в зависимости от номера заезда

Название ТС	Угол крена автомобиля, град.		
	Заезд №1	Заезд №2	Заезд №3
LADA Vesta	12,87	13,22	13,28
Ford Focus	12,26	11,45	10,21

Таблица 3

Поперечные ускорения автомобиля в зависимости от номера заезда

Название ТС		Значение, м/с ²		
		Заезд №1	Заезд №2	Заезд №3
LADA Vesta	Ускорение в поперечном направлении	2,48	2,3	1,95
Ford Focus	Ускорение в поперечном направлении	2,87	3,8	5,16

Незначительная разница полученных данных в случае заездов, проводимых на автомобиле Lada Vesta SV Cross, может объясняться недостаточно высокой скоростью прохождения поворотов, а также незначительным увеличением массы ТС, не оказывающей заметного влияния на поведение автомобиля и фиксируемые измерительным устройством параметры.

Центробежная сила, действующая на автомобиль при прохождении поворота, определяется по формуле:

$$P_{\text{ц}} = \frac{mV^2}{R} \quad (1)$$

где m – масса автомобиля, V – скорость движения автомобиля, R – радиус поворота.

Значение поперечной составляющей центробежной силы, оказывающей влияние на крен автомобиля, определяется формулой:

$$P_y = P_{yI} + P_{yII} + P_{yIII} \quad (2)$$

где P_{yI} – поперечная составляющая центробежной силы; P_{yII} – поперечная составляющая центробежной силы, вызванная изменением кривизны траектории; P_{yIII} – поперечная составляющая центробежной силы, вызванная неравномерностью движения.

Составляющие центробежной силы P_{yI} и P_{yII} зависят от скорости движения автомобиля: они пропорциональны скорости автомобиля (первая – квадрату скорости, вторая – непосредственному значению скорости) [5].

Исходя из данных зависимостей, для большей информативности полученных данных при испытании автомобиля Ford Focus на выбранном маршруте была увеличена скорость движения, а также масса балласта, добавляемого за заезд. При данном подходе четко прослеживается изменение значений поперечного ускорения, однако на основании данных об угле крена, аналогично испытаниям автомобиля Lada Vesta SV Cross, формулировка зависимости представляется невозможной.

Заключение

При проведении испытаний были:

1. Проведены натурные испытания автомобилей Lada Vesta SV Cross и Ford Focus, с целью определения углов крена в зависимости от изменения массы автомобиля при прохождении поворотов по наименьшему возможному радиусу;
2. В качестве измерительного устройства использовался телефон Apple Iphone 7 Plus и диагностический сканер OBDII;
3. Освоены навыки работы с программным комплексом MATLAB;
4. Освоены навыки обработки экспериментальных данных;

5. Выбраны и рассчитаны оценочные показатели для проведенного испытания: - ускорения (продольное, поперечное), углы крена и рысканья автомобиля, долгота, широта, скорость движения по данным GPS/Glonass с соответствующими значениями;

6. В исследовательской части работы были получены следующие результаты:

- значения угла крена для автомобиля Lada Vesta SV Cross в трех заездах: 12,87°; 13,22°; 13,28°;

- значения угла крена для автомобиля Ford Focus в трех заездах: 12,26°; 11,45°; 10,21°;

- значения поперечного ускорения для автомобиля Lada Vesta SV Cross в трех заездах: 2,48 м/с²; 2,3 м/с²; 1,95 м/с²;

- значения поперечного ускорения для автомобиля Ford Focus в трех заездах: 2,87 м/с²; 3,8 м/с²; 5,16 м/с².

В соответствии с полученными данными сделаны выводы:

1. При проведении испытания по определению углов крена автомобилей в зависимости от его массы установлено, что точности измерительного устройства (смартфона) недостаточно для получения качественных данных, позволяющих произвести подробный анализ.

2. Увеличение скорости и уменьшение радиуса прохождения поворота позволяет проследить явное изменение ускорения в поперечном направлении, однако ввиду вышеперечисленных недостатков данного метода измерений, достоверность данных может сильно отличаться от действительных показателей.

Список литературы

1. Шадрин, С.С. Использование смартфонов в образовательном процессе МАДИ при проведении дорожных испытаний автотранспортных средств / С.С.

Шадрин, А.М. Иванов // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы»: межвуз. сб. науч. ст. – 2014. – Вып. 9. – № 19 (146). – С. 81-85.

2. Литвинов, А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. - М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.: ил.

3. Документация MATLAB. – URL: <https://docs.exponenta.ru/> (Дата обращения 02.12.2020).

4. Петренко, А.М. Устойчивость специальных транспортных средств: учеб. пособие / А.М. Петренко. – М.: МАДИ, 2013. – 41 с.

5. ГОСТ 31507-2012 Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097619> (Дата обращения 02.12.2020).

References

1. Shadrin S.S., Ivanov A.M. *Izvestiya VolgGTU. Seriya «Nazemnyye transportnyye sistemy»*, 2014, vol. 9, no. 19 (146), pp. 81-85.

2. Litvinov A.S., Farobin YA.Ye. *Avtomobil': teoriya ekspluatatsionnykh svoystv*: (Automobile: theory of operational properties), Moscow, Mashinostroyeniye, 1989, 240 p.

3. URL: <https://docs.exponenta.ru/>.

4. Petrenko A.M. *Ustoychivost' spetsial'nykh transportnykh sredstv* (Stability of special vehicles), - Moscow, MADI, 2013, 41 p.

5. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097619>

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф., МАДИ